

## Beschreibung

### Energiespeicher

Die Erfindung betrifft einen Energiespeicher sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Energiespeichers.

Eine bedarfsgerechte regenerative Stromversorgung auf der Basis von Sonne (solare Stromerzeugung) und Wind (Windstromerzeugung) erfordert (Energie-)Speichersysteme um temporäre Erzeugungsüberschüsse bei diesbezüglichen Stromerzeugungsanlagen und - Defizite gegenüber dem Verbrauch ausgleichen zu können.

Solarstromerzeugung fällt in der Nacht immer aus; während des Tages richtet sich die verfügbare Leistung der solaren Stromerzeugung nach Sonnenstand, Bewölkung und weiteren Einflüssen, welche die Intensität der Strahlung auf Solarstromwandlungssysteme beeinflussen.

Windstromerzeugung richtet sich nach den jeweils (am Ort der Windstromerzeugungsanlage) vorherrschenden Windgeschwindigkeiten. Diese können zeitweise so niedrig ausfallen, dass keine Umwandlung in elektrische Energie möglich ist. Die Leistung des Windes ist proportional zur dritten Potenz seiner Geschwindigkeit und weist dadurch mitunter sehr hohe Änderungsraten auf.

Auch wenn zur Stromerzeugung Wind und Sonne zusammen eingesetzt werden, ist mit temporären Ausfällen und längeren Zeitphasen zu rechnen, in denen die Erzeugung nicht ausreicht, um die Verbrauchsanforderungen zu erfüllen.

Andererseits gibt es bei einer Systemauslegung für diese regenerativen, wetterabhängigen Erzeugungssysteme zur Bereitstellung elektrischer Leistung, bei der die durchschnittliche regenerative Erzeugung ausreichen würde, um die Energie bereitzustellen, die auch durchschnittlich verbraucht wird, auch Phasen mit erheblicher Überproduktion.

In diesem Fall spricht man von einer bilanziell autarken Versorgung, weil in Summe die Erzeugung in einem Betrachtungsraum auf Dauer gesehen mindestens so viel Energie liefert, wie verbraucht wird. Trotzdem werden dabei temporär anfallende Überschüsse exportiert und in Defizitphasen der eigenen Erzeugung die fehlende Energie importiert.

Ein tatsächlich autarkes System würde diese Abhängigkeit von einem externen Stromnetz nicht erfordern. Dies ist aber auch nicht anzustreben, weil eine regionale Autarkie mit einer vorwiegend auf Wind und Sonne basierenden Erzeugung deutlich mehr Ausgleichsbedarf zwischen Überschuss- und Defizitphasen aufweist, als dies bei einer Einbindung in einen großräumigen, länderübergreifend, leistungsstark vernetzten Verbund der Fall ist. Aber auch innerhalb eines optimalen Verbundsystems verbleibt ein erheblicher Ausgleichsbedarf, weil es immer wieder auch großräumige und länger anhaltende Energiewetterphasen mit Defiziten und Überschüssen gibt, die so viele Teilregionen betreffen, dass dann der

Leistungsaustausch zwischen Überschuss- und Defizitgebieten ausfällt oder erheblich hinter dem Bedarf zurück bleibt.

Wenn geeignete (Energie-)Speichersysteme, im Folgenden meist kurz nur „Speicher“, zur Verfügung stünden, um zeitweise im Überschuss anstehende regenerative Energie aufzunehmen, um sie in anschließenden Defizitphasen wieder abgeben zu können, dann ließe sich eine robuste und versorgungssichere, zu 100% regenerative Stromversorgung mit hohen Anteilen oder allein aus den natürlichen Energiekreisläufen von Wind und Sonne errichten.

Die Anforderungen an die Eigenschaften dieser Speicher können aus Analysen des Verbrauchsverhaltens bei der Stromnutzung im Zusammenspiel mit dem Einspeiseverhalten von Wind- und Solarenergieanlagen abgeleitet werden.

Aus „Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien“, Matthias Popp, Springer 2010, ist bekannt, dass bei Einhaltung eines gut auf die regionalen Verhältnisse abgestimmten Erzeugungs-Mix aus Wind und Solarenergieanlagen im Zusammenspiel mit einer überregionalen leistungsstarken Vernetzung, für die Energiewetterverhältnisse in Deutschland, Speicher mit einer Überbrückungskapazität von ca. 14 Tagen, bezogen auf den durchschnittlichen Verbrauch ausreichen würden, um über alle zu erwartenden Flautephasen hinweg, eine jederzeit sichere und bedarfsgerechte Stromversorgung gewährleisten zu können. Die Einflüsse auf den Speicherbedarf, der bei weniger optimalen Erzeugungsverhältnissen auch deutlich höher und bei länderübergreifender Kooperation oder hohen Erzeugungsreserven auch niedriger ausfallen kann, können auch aus „Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien“, Matthias Popp, Springer 2010, nachvollzogen werden.

Speicher, die eine Verbrauchsanforderung in einer Größenordnung von 14 Tagen erfüllen können, bedeuten jedoch eine riesige Kapazität, die im deutschen Stromnetz 2013 nicht ansatzweise zur Verfügung steht. So müsste beispielsweise die im Jahr 2013 in Deutschland vorhandene Pumpspeicherkapazität dazu etwa ver500facht werden, um die erforderliche Größenordnung zu erreichen.

Die Speicher sollten zudem kostengünstig, verlustarm, unauffällig und möglichst bedarfsnah zur Verfügung stehen. Je kleiner und kostengünstiger die Speichereinheiten realisiert werden können, desto geringer sind die Risiken einer Fehlinvestition, desto mehr Investoren erreichen die Finanzkraft zur Umsetzung eines Speicherprojekts und desto kleinräumiger und robuster wird die Versorgungsstruktur.

Verschiedene Speicher bzw. Speichertechnologien, wie Pumpspeicher, Druckluftspeicher, Wasserstoff- bzw. Methanspeichersysteme oder Batteriesysteme, sind bekannt.

Bei Pumpspeicher handelt es sich um erprobte Technologien, die seit vielen Jahrzehnten angewandt werden. Sie erreichen hohe Wirkungsgrade, unterliegen kaum Verschleiß und können bei entsprechender Wartung ohne zeitliche Begrenzung eingesetzt werden. Es

handelt sich um große Anlagen, die günstige Umgebungsverhältnisse voraussetzen. Das Auffinden neuer Standorte und die Akzeptanz zur Errichtung neuer Standorte erweist sich oftmals als Hürde und große Herausforderung.

Druckluftspeicher sind selten - beispielsweise gibt es bisher nur einen solchen bzw. eine solche Anlage in den USA und eine Anlage in Deutschland -, ist deren Wirkungsgrad aufgrund der Wärmeverluste gering und liegt unter 50%. Wenn es gelingt, diese Wärme bei der Verdichtung zu speichern und bei der Entspannung wieder zuzuführen, dann kann der Wirkungsgrad verbessert werden. In diversen Forschungsprojekten wird daran gearbeitet, Systeme mit bis zu 70% Wirkungsgrad zu erreichen. Es müssen zudem geeignete Untergrundverhältnisse, etwa in Form von Salzstöcken vorliegen, um die notwendigen unterirdischen Druckluftkavernen errichten zu können.

Wasserstoff bzw. Methanspeichersysteme, bei welchen aus Wasser durch Elektrolyse mit Überschussstrom Wasserstoff gewonnen wird, wurden bisher im Labormaßstab und in kleineren Demonstrationsanlagen erprobt.

Der hierbei erzeugte Wasserstoff kann mit dafür ausgelegten Gaskraftwerken oder Brennstoffzellen wieder in elektrischen Strom zurückverwandelt werden. Der Wasserstoff dient in diesem Fall als Speichermedium. Der Wasserstoff kann in einem weiteren Prozessschritt unter Hinzunahme von CO<sub>2</sub> zu Methan aufbereitet und ins Erdgasnetz eingespeist werden. Anschließend kann das Methan mit den vorhandenen Erdgaskraftwerken wieder in Strom zurück verwandelt werden.

Als Wirkungsgrad von Strom in Strom sollen bei Wasserstoffsystemen zukünftig bis zu 50% erreichbar sein, bei Methansystemen bis zu 40%. Die Entwicklung dieser Systeme befindet sich noch in einer frühen Phase. Diese Art der Speicherung erfordert in erheblichem Umfang zusätzliche Erzeugungssysteme, um die hohen Umwandlungsverluste des Speicherprozesses auszugleichen.

Batteriesysteme erreichen zum Teil recht gute Wirkungsgrade von bis zu 90%. Alle im Jahr 2013 bekannten Systeme weisen vergleichsweise hohe Kosten auf. Die Lebensdauer und die Zyklenfestigkeit sind in der Regel begrenzt. Die Art der Bewirtschaftung kann dabei Einfluss auf die Lebensdauer und den Wirkungsgrad haben. 14 tägige Überbrückungskapazitäten für die Stromwirtschaft sind bei diesen Systemen kostenseitig im Jahre 2013 nicht darstellbar. Selbst wenn die vollständige Fahrzeugflotte Deutschlands elektrifiziert und auf entsprechende (2013 am Markt weder verfügbare noch angekündigte) Batteriesysteme umgestellt würde, wäre die damit geschaffene Kapazität nur ein kleiner Bruchteil der für eine sichere bedarfsgerechte Stromversorgung erforderlichen Kapazität.

Neben diesen, dem Stand der Technik entsprechenden Systemen gibt es weitere Vorschläge, um die jeweils bestehenden Schwierigkeiten zu vermeiden.

Ringwallspeicher, Lageenergiespeicher, Untertage-Pumpspeicher, isotherme Druckluftspeicher, Kältespeicher, seien hier als Beispiele genannt.

In der wissenschaftlich, politisch, industriell und öffentlich geführten Diskussion zu den Speichersystemen ist ein starker Wunsch, nach dezentralen Lösungen zu bemerken.

Die Herausforderung ist, dass die Speicher einen hohen Wirkungsgrad und gleichzeitig niedrige Kosten aufweisen sollten. Geringe Kosten lassen sich insbesondere dann erzielen, wenn das Speichersystem eine hohe oder unbegrenzte Lebensdauer erreicht, die Herstellmaterialien in hohem Maße kostengünstig verfügbar sind und der Energieaufwand für die Herstellung im Vergleich zu den Energieumsätzen während der Speichernutzung gering ist.

Ferner ist es bekannt, zur Herstellung von Betonwänden, auch in dichtender Funktion, im Untergrund Schlitzwände einzusetzen.

Diese Schlitzwände werden segmentweise mit einer vertikal arbeitenden Schlitzwandfräse von oben (in Arbeitsrichtung nach unten) in den Untergrund eingebracht, zunächst mit einer Stützflüssigkeit gefüllt und anschließend die Stützflüssigkeit durch Beton ersetzt.

Schlitzwände nach diesem Verfahren können mit weit über 100 Metern Tiefe hergestellt werden.

Schlitzwände, die anschließend auch eine Dichtaufgabe übernehmen, dienen beispielsweise dazu, den seitlichen Grundwasserzufluss in Tagebaue zu verhindern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Nachteile im Stand der Technik zu verbessern, insbesondere (Energie-)Speicher zu ermöglichen, welche einen hohen Wirkungsgrad und gleichzeitig niedrige Kosten aufweisen. Auch sollen sie kostengünstig, verlustarm, unauffällig und möglichst bedarfsnah sowie mit hoher oder unbegrenzter Lebensdauer zur Verfügung stehen.

Die Aufgaben werden durch einen Energiespeicher sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Energiespeichers mit den Merkmalen gemäß dem jeweiligen unabhängigen Patentanspruch gelöst.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen und/oder aus nachfolgenden Erläuterungen und beziehen sich sowohl auf den Energiespeicher als auch auf das Verfahren zur Herstellung eines solchen Energiespeichers.

### **Energiespeicher (Stülpmembranspeicher)**

Der Energiespeicher weist einen in einer Einfassung beweglichen Kolben auf.

Dabei sei als Kolben jede Art von unter Gravitationswirkung stehender, d.h. so massebehafteter, Körper verstanden. Ein solcher Kolben kann eine regelmäßige und/oder unregelmäßige Form aufweisen. So kann er beispielsweise block- oder zylinderförmig ausgebildet sein. Beispielsweise kann ein solcher Kolben eine – aus seiner Umgebung

freigeschnittene – (natürliche) Fels- und/oder Erdreichformation sein. Auch künstliche Formationen und/oder gemischte Formationen sind möglich. Wird der Kolben so aus seiner Umgebung freigeschnitten, kann diese Umgebung die Einfassung ausbilden.

Als Einfassung kann so auch jede Art von den Kolben aufnehmendem – beispielsweise durch eine Wand begrenztem - Hohlraum sein. In dieser Einfassung kann der Kolben unter Gravitationseinwirkung bewegt, insbesondere vertikal bewegt, d.h. angehoben und/oder abgesenkt, werden. Insbesondere kann so die Einfassung eine dem Kolben entsprechende Form aufweisen, wie beispielsweise ein einen Zylinder (Kolben) aufnehmender Hohlzylinder (Einfassung).

So kann beispielsweise mittels eines Mediums, insbesondere eines Fluids, wie Wasser, der Kolben in seiner Einfassung angehoben werden, wobei so (im Lageenergiespeicher bzw. im Kolben) Lage- bzw. potentielle Energie gespeichert werden kann. Dieses Anheben kann beispielsweise mit aus Pumpspeicherkraftwerken bekannten Techniken mit Motorpumpen realisiert werden.

Wird der Kolben in seiner Einfassung (wieder) abgesenkt und verdrängt dabei das unter ihm befindliche Fluid - und wird das ihn anhebende bzw. das „unter“ ihm befindliche Medium bzw. Fluid abgeleitet, beispielsweise bei Durchströmung einer Strömungsmaschine, wie einer Turbine, so kann dadurch Energie (ausgehend von der Enthalpie des strömenden Fluids) erzeugt werden.

Vereinfacht dargestellt, die in dem (angehobenen) Kolben gespeicherte Lageenergie wird in Rotationsenergie und letztlich in mechanische Antriebsenergie umgewandelt. Treibt die Turbine einen Generator an, so kann die mechanische Antriebsenergie weiter in elektrische Energie umgewandelt werden, welche in ein Stromnetz eingespeist werden kann.

Zwischen dem Kolben und seiner, ihn aufnehmenden Einfassung kann sich dabei ein Spalt, insbesondere – bei entsprechender Formgestaltung des Kolbens und seiner Einfassung - ein ringförmiger Spalt (Ringspalt), ausbilden. Der Spalt zwischen dem Kolben und seiner Einfassung kann dabei so breit angelegt werden, dass der Kolben unter allen Betriebsbedingungen jederzeit frei beweglich ist (Aufbau oder Abgabe der Lageenergie).

Die Erfindung sieht nun dabei weiter vor, dass der Kolben mit einer Stülpmembran gegenüber seiner Einfassung abgedichtet ist (im Folgenden dann als Stülpmembranspeicher bezeichnet).

D.h. bzw. „(der Kolben mit der Stülpmembran gegenüber seiner Einfassung) abgedichtet (ist)“ kann dabei meinen, dass, bildet sich zwischen dem Kolben und der Einfassung der Spalt aus und trennt die Stülpmembran – ist die Stülpmembran, vorzugsweise mit/in ihren jeweiligen Randbereichen, einerseits am Kolben und andererseits an der Einfassung angeordnet bzw. befestigt – (beiderseits der Stülpmembran liegende) Räume (insbesondere auch begrenzt durch den Kolben und Einfassung), ein Fluid-/Materieaustausch zwischen den durch die Stülpmembran abgetrennten Räume nicht möglich ist.

Auch kann dabei bei der Erfindung unter der Stülpmembran insbesondere eine wasserundurchlässige, reißfeste und druckdichte, aber flexible Trenn(-material-)schicht zwischen dem Kolben und der Einfassung verstanden werden, welche insbesondere geeignet ist, Fluide bzw. Flüssigkeiten - beiderseits der Stülpmembran - mit unterschiedlichen Drücken bzw. mit höherem und niedrigerem Druck (beiderseits der Stülpmembran) druckdicht, d.h. ohne Druckausgleich bzw. -annäherung über die Stülpmembran, gegeneinander zu trennen („Abdichtung“).

Diese Stülpmembran kann dabei einerseits am Kolben, beispielsweise Bereiche des Kolbens schlauchförmig umhüllend, andererseits an der den Kolben aufnehmenden Einfassung befestigt, beispielsweise durch, insbesondere kraftschlüssiges, Verschrauben und/oder Verkleben befestigt, sein. Dazwischen kann die Stülpmembran eine – insbesondere bzw. in der Regel unter Zugspannungen stehende - Stülpzone ausbilden, in welcher die Stülpmembran umgestülpt ist. Durch Kolbenbewegung in der Einfassung kann sich die Stülpzone der Stülpmembran verlagern bzw. bei Kolbenbewegung (des Kolbens in seiner Einfassung) verlagert sich die Stülpzone der Stülpmembran im Spalt.

Die Stülpmembran kann aus stahl-/metall-/gewebe-/glas- und/oder kohlefaserverstärktem, biegeelastischem Gummi und/oder Kunststoff bestehen. Insbesondere soll sie eine hohe Zugfestigkeit, welche für einen Langzeitbetrieb bzw. Langzeitlebensdauer erforderlich ist, aufweisen.

Beispielsweise und/oder als Ausgangsmaterial kann sie auch aus einem Material bestehen, welches auch bei Förderbändern zum Einsatz kommt. Ein solches Material hat in Längsrichtung eine hohe Zugfestigkeit bei geringer Dehnung und ist ausreichend flexibel (und auch abriebfest), um die Verlagerung/Umlenkung innerhalb des Spalts bei der Kolbenbewegung unbeschadet mitzumachen.

Förderbänder können in großen, für einen Stülpmembranspeicher benötigten Mengen gefertigt werden bzw. stehen zur Verfügung und können als Basis für die Stülpmembran verwendet werden (Stülpmembranbänder). Sie werden bis zu Breiten von über zwei Metern serienmäßig gefertigt. Mit dieser Abmessung lassen sie sich bzw. solche Stülpmembranbänder gut an den Einsatzort, d.h. an den Ort des Stülpmembranspeichers, transportieren und dort zur Stülpmembran zusammenfügen/verarbeiten/komplimentieren.

Spezielle Anpassungen und Optimierungen der Stülpmembranbänder an spezifische Anforderungen für eine Verwendung als Stülpmembran eines speziellen Stülpmembranspeichers (mit erforderlichen Oberflächeneigenschaften, Zugfestigkeitsanforderungen, zulässigen Biegeradien, Verklebungsmöglichkeiten und spezieller Anpassung an die Form von Kolben und Einfassung) sind einfach möglich.

Um eine seitliche reißsichere Verbindung der Stülpmembran zu dem Kolben, insbesondere zu einer meist großen Zylinderringfläche um den Kolben, zu gewährleisten, ist es

zweckmäßig, die Verbindung vor Ort zuverlässig und rationell in einem möglichst automatisierbaren Prozess durchzuführen, der innerhalb des Ringspalts stattfinden kann.

Die insbesondere aus aneinandergesetzten Bändern zusammengesetzte Stülpmembran kann ein – oder auch mehrlagig, gegebenenfalls versetzt zueinander, aufgebaut sein.

Insbesondere können, um großflächige Gebilde zu erhalten, die eine bzw. mehreren Lagen einer solchen Stülpmembran gegeneinander, insbesondere unter Druck, verklebt werden.

Insbesondere weist die Stülpmembran auch eine entsprechend hohe Festigkeit und/oder Flexibilität auf, um die Stülpbewegung unter den hohen Zugspannungen mitzumachen.

Vereinfacht bzw. anschaulich ausgedrückt, im Schnitt kann die Stülpmembran ein (umgedrehtes) „U“ ausbilden, deren beiden Schenkellängen bei der Verlagerung variieren. Die Schenkelenenden bzw. die Schenkelenbereiche sind mit dem Kolben bzw. mit der Einfassung verbunden.

Aufbauend auf dieses erfindungsgemäße Grundprinzip mit der Stülpmembran bzw. die erfindungsgemäße Stülpmembrantechnik zur Errichtung von Energiespeichern, hier dann Stülpmembranspeichern, eröffnet die Anwendung dieses Prinzips viele Vorteile zur Schaffung leistungsfähiger Speicherlösungen.

Der Stülpmembranspeicher kann so eine Antwort auf die Anforderungen, die an ein energiewirtschaftlich relevantes Speichersystem zu stellen sind, sein.

Bei der Erfindung und dortig realisierter Abdichtung zwischen Kolben und Einfassung mittels der Stülpmembran erweist sich insbesondere so als Vorteil, dass auf gleitende Dichtsysteme, bei denen Leckströmungen nicht ausgeschlossen werden können und hohe Anforderungen an die Dichtungsflächen bzw. Gleitflächen und die Dichtsysteme zu stellen sind, verzichtet werden kann.

Der Stülpmembranspeicher mit seiner erfindungsgemäßen Stülpmembrantechnik umgeht damit diese schwierige Problematik der Abdichtung und reibungsarmen Beweglichkeit des Kolbens in seiner Einfassung. Sowohl die Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit des Kolbens als auch an die (Wand-)Oberfläche der Einfassung wie auch an die Spaltgeometrie und/oder Spaltbreite sind bei der Erfindung bzw. dortigen Stülpmembrantechnik deutlich einfacher, als bei gleitenden Dichtsystemen.

Grobe Kostenabschätzungen lassen bei entsprechenden Systemgrößen Speicherkapazitätskosten erwarten, die in der Größenordnung klassischer Pumpspeicher und darunter liegen.

Die Unabhängigkeit von der Geländeform und eine verbrauchsnahe gleichzeitig mögliche Nutzung als saisonaler Wärmespeicher deuten darauf hin, dass es sich um ein interessantes Speichersystem handelt, das zu den Herausforderungen der Energiewende passt und einen

wesentlichen Beitrag zur letzten Schlüsselherausforderung der erneuerbaren Energieversorgung leisten kann.

Mit dem erfindungsgemäßen Stülpmembranspeicher kann so ein den zeitgemäßen Herausforderungen genügender, kostengünstiger, verlustarmer, unauffälliger und möglichst bedarfsnaher Energiespeicher mit hoher oder unbegrenzter Lebensdauer zur Verfügung gestellt werden.

Weiterhin kann bei dem Stülpmembranspeicher auch vorgesehen werden, dass an dem Kolben eine, feste Schale (z.B. Betonschale/-hülle) und/oder an der Einfassung eine Schale (z.B. Betonschale/-verkleidung) angeordnet ist/sind, um so insbesondere in Untergründen mit unzureichender oder unzureichend bekannter Eigenstabilität („(bau-)technisch schwieriger Untergrund“) form- und eigenstabile sowie druckwasserdichte Komponenten zu erhalten.

Zusätzlich zur Anbringung der Schalen (z.B. Betonschalen) kann durch Injektion von Bindemitteln in die dahinter liegenden Untergrundbereiche, deren Eigenstabilität erhöht/verbessert werden.

Auch kann weiter vorgesehen sein, dass ein Kolbenboden eine halbkugelförmige, insbesondere durch eine Spaltfräsbetoniereinheit (kurz auch nur Fräsbetoniereinheit) hergestellte, Schalung und/oder ein Einfassungsboden eine halbkugelförmige, insbesondere durch eine Spaltfräsbetoniereinheit (kurz auch nur Fräsbetoniereinheit) hergestellte, Schalung aufweist/-en.

Weiterhin kann auch vorgesehen sein, dass der Stülpmembranspeicher als geschlossener Energiespeicher mit einer geschlossenen, den Kolben vollständig umgebende Einfassung, welche insbesondere unterirdisch angeordnet ist, ausgebildet ist. Auch ein „offener“ Energiespeicher mit einer nach oben offenen Einfassung, welche insbesondere durch eine Abdeckung abdeckbar ist, ist realisierbar. Auf der Abdeckung, beispielsweise eine Schwimmdecke, lassen sich, insbesondere drehbare – und so nach der Sonne ausrichtbare – Photovoltaikanlagen anordnen.

Auch andere kombinierte „Energiekonzepte“ lassen sich mit dem Stülpmembranspeicher realisieren, beispielsweise ein kombinierter Lage-/Wärmeenergie-Speicher.

Hierzu lassen sich insbesondere Wärmetauscherelemente, insbesondere spiralförmig umlaufend Heizspiralen, insbesondere angeordnet an der Einfassung oder an einer Schale der Einfassung anordnen, über welche erwärmtes Wasser zuführbar oder ableitbar ist, welches dann Wärme an das Stülpmembranspeichermedium/-flüssigkeit zur dortigen Wärmespeicherung abgibt..

D.h., der Stülpmembranspeicher kann bei einer Parallelnutzung auch als Wärmespeicher eingesetzt werden, wobei in einem die Kolbenbewegung in der Einfassung bewirkenden



Medium, bevorzugt Wasser, Wärmeenergie, hier dann beispielsweise über Wärmeaustausch mit erwärmtem, durch die Wärmetauscher-elemente einleitbarem Wasser, gespeichert wird.

Diese Wärme überträgt sich damit auch auf den Kolben, der zur Erhöhung der Wärmespeicherkapazität ebenso beiträgt wie die miterwärmte Umgebung des Untergrunds, insbesondere wenn auf eine Wärmedämmung zur Umgebung verzichtet wird. Diese Wärmedämmung zur Umgebung kann insbesondere dann erforderlich sein, wenn der Untergrund von Grundwasserströmungen betroffen ist, welche die abgegebene Wärme abtransportieren würden.

Bei der kombinierten Nutzung als Speicher für potentielle Energie und Wärme kann durch Anbringung entsprechend dimensionierter Wärmedämmung über dem Stülpmembranspeicher und ggf. zusätzlich in dessen vom Untergrund her erwärmten Umkreis dafür gesorgt werden, dass der Wärmeverlust über die Erdoberfläche an die Umgebung begrenzt wird.

Im Untergrund kann abhängig davon, ob das den Stülpmembranspeicher umgebende Bodenvolumen mit zur Wärmespeicherung herangezogen werden soll oder nicht, im Ringspalt an der Einfassung/Außenhülle eine Wärmedämmung angebracht oder darauf verzichtet werden.

### **Energiespeicher – Herstellung**

Bei dem Verfahren zur Herstellung eines solchen Energiespeichers aus Einfassung und darin beweglichen Kolben, insbesondere dann auch zur Herstellung eines Stülpmembranspeichers (hier ist dann weiter der Kolben mit der Stülpmembran gegenüber seiner Einfassung abgedichtet), wird der Kolben aus einem Untergrund freigeschnitten.

Anders bzw. vereinfacht ausgedrückt, es wird Untergrundmaterial um den (sich dadurch/durch das Freischneiden bildenden bzw. dadurch (form-)definierten) Kolben geschnitten, wodurch sich der Kolben und seine Einfassung bzw. der Spalt zwischen dem Kolben und seiner Einfassung bilden.

Freigeschnittenes Material kann über Pumpsysteme durch Rohrleitungen und Kanäle aus dem Spalt befördert werden.

D.h., der Kolben wird mittels dieses Freischneidens von seiner „Umgebung“ abgetrennt – und dadurch der Kolben, Spalt und Einfassung gebildet.

Hierbei kann dieses Freischneiden derart formgebend erfolgen, dass sich ein annähernd zylindrischer Kolben und/oder annähernd ringförmiger Spalt und/oder annähernd zylindrische Einfassung ergibt.

Hierzu, d.h. zum Freischneiden (des Kolbens), kann zweckmäßiger Weise eine Schlitzwandtechnik bzw. eine Schlitzwandfräse verwendet werden, handelt es sich hierbei um eine – im Grundsatz erprobt – (Basis-)Technologie.

Da es insbesondere in Untergründen mit unzureichender oder unzureichend bekannter Eigenstabilität („(bau-)technisch schwieriger Untergrund“) nicht einfach ist, einen (in seiner Einfassung) frei beweglichen Kolben großer Dimension freizuschneiden - und diesen gegebenenfalls stabil zu ummanteln bzw. es dort ebenso nicht einfach ist, die den Kolben aufnehmende Einfassung, beispielsweise einen den Kolben einfassenden Zylinder bzw. deren/dessen Innenfläche, stabil zu ummanteln, ist eine angepasste Schlitzwandtechnik bzw. dessen angepasstes „Werkzeug“ (Schlitzwandfräse) ein geeignetes bzw. bevorzugtes Mittel zur Herstellung des Energiespeichers, gewährleisten diese gerade bei diesen (bau-)technisch schwierigen Untergründen und/oder groß zu bauenden Dimensionen von den Energiespeichern dortige diesbezügliche Sicherheit.

Auch eine nach Herstellung des Energiespeichers anschließende dauerhaft druckwasserdichte und eigenstabile, auf eine lange bis unbegrenzte Zeitskala zuverlässige Funktion des Energiespeichers kann durch Freischneiden (des Kolbens) und gegebenenfalls Ummantelung (des Kolbens)/Auskleidung (der Einfassung) mittels der angepassten Schlitzwandtechnik gewährleistet werden.

So kann insbesondere vorgesehen werden, eine den Kolben umhüllende Hülle/Schale und/oder eine die Einfassung bildende bzw. diese auskleidende Außenschale/Verkleidung (zur Umgebung), beispielsweise in Form eines (Hohl-)Zylinders, in der sich der – gegebenenfalls umhüllte - Kolben bewegt, nach einer weiterentwickelten, modifizierten bzw. angepassten Schlitzwandtechnik bzw. mittels einer weiterentwickelten, modifizierten bzw. angepassten Schlitzwandfräse zu errichten.

Da insbesondere in der Herstell-/Bauphase nach der Freilegung des Spalts zwischen dem Kolben und der Einfassung der Gegendruck von innen entfällt, kann sich von außen ein erheblicher Druck auf die Einfassung aufbauen.

Die Außenschale, nach dieser weiterentwickelten, modifizierten bzw. angepassten Technik so in Form einer Schlitzwand fertigbar, würde dann, vergleichbar mit einem großen, senkrecht stehenden „Gewölbe“, diese Drücke auffangen. Die Außenschale wäre primär einer Druckbelastung ausgesetzt, für die Beton als Baustoff gut geeignet ist (Außen(-beton-)schale).

Die Stärke dieser Außenschale wäre jeweils so zu dimensionieren, dass die dabei zu erwartenden Belastungen sicher aufgefangen werden.

Auf analoge Weise könnte in Form einer Schlitzwand die Ummantelung des Kolbens gefertigt werden. Die Belastungen auf diese Hülle/schale sind nach Freilegung des Spalts aber insbesondere dann von innen nach außen gerichtet, wenn das ummantelte Bodenmaterial (Kolben) keine Eigenstabilität aufweist und ohne Ummantelung mit der Zeit die Form eines Schüttkegels einnehmen würde.

Beton ist für Zugbelastungen wenig geeignet. Er müsste entsprechend dimensioniert und bewehrt werden, um die zu erwartenden Zugspannungen in Umfangsrichtung, aufgrund sich eventuell aufbauender Innendrucke aufnehmen zu können.

Wegen der segmentweisen Erstellung dieser Schale um den Kolben, kann die Bewehrung in Umfangsrichtung nicht einfach angelegt werden. Im Zuge der sukzessiven Freilegung des Spaltes nach der weiterentwickelten, modifizierten bzw. angepassten Schlitzwandtechnik könnte nach Fertigstellung der beiden Hüllen/Schalen (d.h. von Kolbenhülle und Einfassungsauskleidung), die Schale/Hülle um den Kolben mit einer zweiten Schale/Hülle ummantelt werden, in die eine Bewehrung in Umfangsrichtung eingebaut werden kann.

So lange der Spalt nicht (vollständig) freigelegt ist, stützt dieser die Ummantelung des Kolbens. Mit der bzw. vollständiger Freilegung entfällt diese Stützwirkung und muss entsprechend der zu erwartenden Zugbelastungen durch geeignete technische Maßnahmen, z.B. der Bewehrung in Umfangsrichtung, abgefangen werden.

Grundsätzlich stehen aber mit der Basistechnologie bzw. der Basisschlitzwandtechnik erprobte Technologien zur Verfügung, um den – insbesondere senkrechten/vertikalen - Spalt zwischen Kolben und Einfassung (Zylinder) zu errichten.

Durch entsprechende Nachbehandlung der Oberflächen der Ummantelungen (Schalen/Hüllen) bzw. Schlitzwände beim Kolben und der Einfassung können diese im Zuge der Spaltfreilegung anschließend der Qualität angepasst werden, die erforderlich ist, um als Auflage für die Stülpmembran bei einem Stülpmembranspeicher zu dienen.

Weiterhin kann vorgesehen sein, die Herstellung des Energiespeichers, insbesondere des Stülpmembranspeichers, neben, insbesondere gleichzeitig und/oder in einem Arbeitsgang mit, dem Freischneiden des Kolbens bzw. „Freischneiden“ des Spaltes insbesondere auch dortige Ummantelungen bzw. Wandbetonagen (von Kolben und/oder Einfassung), nach einer modifizierten Schlitzwandtechnik („Fräsbetonieren“) durchzuführen.

Für diesen kombinierten Arbeitsgang von Freischneiden und Betonieren bzw. Ummanteln/Auskleiden („Fräsbetonieren“) kann eine modifizierte, insbesondere weitgehend horizontal liegende, „fräsbetonierende“ Schlitzwandfräse (auch im Folgenden Spaltfräsbetoniereinheit bzw. kurz nur Fräsbetoniereinheit) eingesetzt werden.

Diese Fräsbetoniereinheit kann sich zusammensetzen aus Fräseinheit, Führungseinheit und, soweit im Einzelfall erforderlich, Schalungseinheit mit vorgeschalteter Schalenmasseaufgabe, z.B. Betonaufgabe. Die Fräsbetoniereinheit kann weiter derart, beispielsweise mittels Gelenken, ausgebildet sein, um sich flexibel einem Krümmungsradius des zu schaffenden Spalts anzupassen.

Diese Fräsbetoniereinheit erlaubt es, insbesondere auch große und tiefe umlaufende Spalte (gleichzeitig) mit betonierten Ummantelungen/Wandschalen beim Kolben und seiner Einfassung in einem kontinuierlichen Verfahren/Prozess direkt herzustellen.

Die Fräsbetoniereinheit kann sich dazu, insbesondere weitgehend horizontal liegend, schraubenförmig, wie ein Korkenzieher nach unten, arbeiten. Sie schneidet dabei in einem Durchgang den Spalt frei, kann ihn um die Dicke der Ummantelungen/Betonschalen verbreitern und betoniert diese auch gleich in dem kontinuierlichen Prozess.

Diese Fräsbetoniereinheit kann - in Vorwärtsrichtung - mit den Fräsköpfen, vergleichbar zu einer vertikal arbeitenden bzw. vertikalen Schlitzwandfräse, aufgebaut sein. Die in Vorschubrichtung zunächst freizuschneidende Breite kann etwas schmaler als der letztendlich verbleibende (Ring-)spalt sein, damit die Fräsbetoniereinheit, zum Beispiel nach Fertigstellung des Bauwerks, auch wieder (aus dem Spalt) herausgefahren werden kann.

Weiter können bei der Fräsbetoniereinheit Seitwärtsfräseinheiten vorgesehen sein.

Diese Seitwärtsfräseinheiten können für die Herstellung der Ummantelung/Betonschale der Einfassung und der Ummantelung/Hülle des Kolbens vorgesehen werden, wobei mittels dieser Seitwärtsfräseinheiten der Schlitz auf Spaltbreite plus die Wandstärken der Ummantelungen verbreitert wird.

Die Seitwärtsfräseinheiten können dabei an der Fräsbetoniereinheit so angebracht sein, dass sie auch zurückgefahren werden können. Das ermöglicht das Ausfahren der Fräsbetoniereinheit am Ende der Spaltherstellung.

Weiter können auch Zuführungen für eine Zufuhr von Spülflüssigkeit in den Bereich der Fräseinrichtungen bei der Fräsbetoniereinheit vorgesehen sein.

Über flexibel ausfahrbare Sperrschieber und Abpumpeinrichtungen (für das freigeschnittene, von Spül-/Stützflüssigkeit aufgenommene Material) bei der Fräsbetoniereinheit kann dafür gesorgt werden, dass der Raum hinter der Fräsbetoniereinheit nach Möglichkeit weitgehend trocken bleibt.

Weiter können auch seitliche Führungseinheiten bei der Fräsbetoniereinheit vorgesehen sein, welche freigeschnittene Spaltbereiche gegen das Ausbröckeln weiteren Materials aus angrenzenden Wandbereichen (bei Einfassung und/oder Kolben) stützen/schützen.

Weitere Aufgabe solcher seitlichen Führungseinheiten ist es, durch seitliche Anpress- und Vorschubkräfte, die damit ausgeübt werden können, der Fräsbetoniereinheit die präzise Vorschubrichtung aufzuprägen. Dazu können diese mit Einrichtungen versehen sein, die ihre Beweglichkeit unter der erforderlichen Kraftausübung in Spaltbreitenrichtung ermöglichen. Die Kraftausübung dabei kann auch senkrecht dazu differenziert so dosiert werden, dass eine exakte Ausrichtung der Fräsbetoniereinheit gewährleistet wird.

Diese seitlichen Führungseinheiten und/oder die seitlichen Fräseinheiten und/oder die Sperrschieber können so weit verschiebbar sein, dass sie auf ein Maß innerhalb der verbleibenden Spaltbreite zurückgefahren werden können. Damit lässt sich die gesamte Fräsbetoniereinheit nach Fertigstellung des Energiespeichers, insbesondere des

Stülpmembranspeichers, aber auch zu Wartungs- und Reparaturzwecken, rückwärts aus dem Spalt herausfahren.

Wird in bestimmten Bereichen, zum Beispiel oberhalb des Kolbens, noch keine Ummantelung/Wandschale benötigt, dann kann durch die vorgesehene Beweglichkeit der seitlichen Führungseinheiten, diese auch in einem eingefahrenen Zustand ihre Aufgabe erfüllen.

Auch können bei der Fräsbetoniereinheit Einbringvorrichtungen für den Beton vorgesehen sein, durch welche insbesondere zähflüssiger, bei Bedarf auch faserverstärkter, Beton für die Ummantelungen eingebracht werden kann.

Auch kann eine mobile Schalungseinheit bei der Fräsbetoniereinheit vorgesehen sein, die den eingebrachten Beton bis zum Erreichen einer ausreichenden Festigkeit auf definiertem Abstand zur Spaltbegrenzung des freigeschnittenen Spalts (bzw. zu dahinter befindlichen Bodenmaterials der Umgebung) hält.

Die Länge dieser mobilen Schalungssysteme kann dabei so gewählt werden, dass bei der erreichten Vorschubgeschwindigkeit der Fräsbetoniereinheit ausreichend Zeit zum Abbinden des eingebrachten Betons zur Verfügung steht.

Nach Durchfahrt der Fräsbetoniereinheit bleiben so die eigenstabilen Ummantelungen/Wandschalen zurück.

Ferner ist es zweckmäßig, dass der Spalt von der (Erd-)Oberfläche beginnend, sich schraubenförmig nach unten windend, erstellt wird. Die Spalthöhe, die in einem Durchgang gefertigt wird, bestimmt den Tiefenvorschub pro Umlauf der Fräsbetoniereinheit.

In Anlehnung an die Schlitzbreite konventioneller, senkrecht/vertikal bewegter Schlitzwandfräsen, kann die Schlitzhöhe der Fräsbetoniereinheit beispielsweise in einem Bereich von einem bis drei, vier oder fünf Metern gewählt werden.

Vorteilhaft ist so bei der erfindungsgemäßen Herstellung des Energiespeichers, insbesondere des Stülpmembranspeichers, insbesondere auch unter Anwendung der Fräs- bzw. Fräsbetoniertechnik, insbesondere mittels der Fräsbetoniereinheit, dass der Spalt zwischen Kolben und Einfassung von oben immer einsehbar und zugänglich ist, insbesondere dass so die Fräsbetoniereinheit immer von oben durch den Spalt sichtbar und zugänglich ist.

Die bisher gegebene Beschreibung vorteilhafter Ausgestaltungen der Erfindung enthält zahlreiche Merkmale, die in den einzelnen Unteransprüchen teilweise zu mehreren zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale wird der Fachmann jedoch zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung, sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im

Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Figuren näher erläutert werden.

Die Erfindung ist jedoch nicht auf die in den Ausführungsbeispielen angegebene Kombination von Merkmalen beschränkt, auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. So können dazu geeignete Merkmale eines jeden Ausführungsbeispiels auch explizit isoliert betrachtet, aus einem Ausführungsbeispiel entfernt, in ein anderes Ausführungsbeispiel zu dessen Ergänzung eingebracht werden.

Funktions-/bauartgleiche bzw. identische Elemente oder Komponenten weisen in den Ausführungsbeispielen und Figuren gleiche Bezugszeichen auf.

Es zeigen:

- Figur 1 einen Stülpmembranspeicher gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 2 einen unterirdisch angeordneten Stülpmembranspeicher gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 3 einen Stülpmembranspeicher mit einer durch ihn ausgebildeten künstlichen Landschaft gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 4 einen Stülpmembranspeicher mit einer Parallelnutzung als Großwärmespeicher gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 5 einen oben offenen Stülpmembranspeicher gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 6 einen Stülpmembranspeicher mit einer schwimmenden Abdeckung des oberen Speichervolumens gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 7 eine gegenüber der Horizontalen leicht abwärts arbeitende Fräsbetoniereinheit zur Herstellung eines Ringspalts bei einem Energiespeicher, insbesondere bei einem Stülpmembranspeicher, gemäß einem Ausführungsbeispiel (in Draufsicht);
- Figur 8 eine Fräsbetoniereinheit gemäß einem Ausführungsbeispiel (in Vorderansicht);
- Figur 9 eine mobile Schalungseinheit bei einer Fräsbetoniereinheit gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 10 einen Ausschnitt der mobilen Schalungseinheit gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 11 eine Profilierung eines Schalungsbands der mobilen Schalungseinheit gemäß einem Ausführungsbeispiel;

- Figur 12 eine Stülpmembran als Ausführung mit zweilagigen Bändern für einen Stülpmembranspeicher gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 13 eine rationelle und sichere Verklebung einer Stülpmembran als Ausführung mit zweilagigen Bändern für einen Stülpmembranspeicher gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 14 eine Fräsbetoniereinheit zur Herstellung eines Energiespeichers, insbesondere eines Stülpmembranspeichers, mit schräger Anordnung von Fräsköpfen gemäß einem Ausführungsbeispiel (in Detailansicht);
- Figur 15 eine Befestigung einer Stülpmembran an einem Kolben und an einer Einfassung bei einem Stülpmembranspeicher gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 16 Kolben- und Einfassungsschalung/-hülle bzw. -verkleidung durch zwei halbkugelförmigen Schalen bei einem Stülpmembranspeicher gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 17 eine Fräseinheit und ein Anfang einer Führungseinheit einer Fräsbetoniereinheit gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 18 eine Fräseinheit einer Fräsbetoniereinheit beim Freiräumen eines Streifens unter einem Kolbenboden gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 19 eine nummerierte Reihenfolge für eine Abfolge von einzelnen Streifen einer halbkugelförmigen Außen-/Innenschalen eines Kolbens bzw. einer Einfassung bei einem Stülpmembranspeicher bzw. Fahrwege einer Fräsbetoniereinheit gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 20 eine Fräsbetoniereinheit zur Herstellung eines Energiespeichers, insbesondere eines Stülpmembranspeichers, bei senkrechter, von oben, geradlinig gestreckter Absenkung in einen zylinderförmigen Ringspalt zwischen einem Kolben und einer Schalung/Verkleidung einer Einfassung eines Energiespeichers, insbesondere eines Stülpmembranspeichers beim Einfahren unter den halbkugelförmig zu errichtenden Kolbenboden, gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 21 einen Stülpmembranspeicher gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Figur 1 zeigt einen Stülpmembranspeicher.

Bei diesem Stülpmembranspeicher wird ein beweglicher Kolben (2), hier in Form annähernd eines Vollzylinders, mit einer Stülpmembran (1) gegenüber seiner Einfassung (3), hier in Form annähernd eines (Hohl-)Zylinders, abgedichtet.

Die Speicheraufladung des Stülpmembranspeichers erfolgt durch Vergrößerung der potentiellen Energie des Kolbens in einem Potentialfeld (zum Beispiel dem Schwere-/Gravitationsfeld der Erde), durch Anheben des Kolbens mit einer Flüssigkeit (4), beispielsweise hier Wasser, die zwischen Kolben (2) und seine Einfassung (3) gepumpt wird.

Die zwischen Kolben (2) und Einfassung (3) angebrachte Stülpmembran (1) ermöglicht eine freie Bewegung (6) des Kolbens (2) senkrecht zum Potentialfeld (5), zum Beispiel dem Gravitationsfeld der Erde, ohne gleitende Dichtelemente, die Reibungswiderstände aufweisen und Leckströmungen hervorrufen würden.

Der Spalt (11) zwischen Kolben (2) und Einfassung (3) kann dabei so breit angelegt werden, dass der Kolben (2) unter allen Betriebsbedingungen jederzeit frei beweglich ist und sowohl die Montage als auch die Funktion des Dichtsystems ermöglicht wird.

Die Stülpmembrantechnik umgeht diese schwierige Problematik der Abdichtung und reibungsarmen Beweglichkeit des Kolbens (2). Sowohl die Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit des Kolbens (2) als auch an die Wandoberfläche der Einfassung (3) als auch an die Spaltgeometrie und Breite (11) dürften sich bei einer Stülpmembran (1) deutlich einfacher und sicherer lösen lassen, als bei gleitenden Dichtsystemen.

Der Kolben (2) eines Stülpmembranspeichers ist, wie hier vorgesehen (vgl. Figur 1), in zweckmäßiger Weise – im Querschnitt - kreisrund ausgeführt, jedoch sind auch davon abweichende Ausformungen möglich.

Figur 2 zeigt einen Stülpmembranspeicher, welcher komplett unterirdisch angeordnet ist.

Abgesehen von der Bauphase würde bei dieser „unterirdischen“ Ausführung des Stülpmembranspeichers – die Einfassung (3) für den Kolben (2) ist hier vollständig unterirdisch angeordnet - die Frage des Platzbedarfs und des Landverbrauchs entfallen.

Durch die mögliche kuppelförmige Ausgestaltung der Decke (12) der in diesem Fall komplett geschlossenen Einfassung (3) ließen sich bei hoher Tragfähigkeit große Durchmesser bei geringem Aufwand für Baumaterial und Unterkonstruktion zur Herstellung des Kuppeldachs (12) realisieren.

Nach Ausfahren des Kolbens (2) an den oberen Totpunkt könnte über dem Kolben (2) der Kuppelbau für die obere Abdeckung (12) erfolgen.

Der Kolben (2) könnte an seiner Oberseite so gestaltet werden, dass er ein ideales Gegenprofil zur oberen Abdeckung (12) aufweist.

Oberhalb einer Trennschicht und einer temporär benötigten Konstruktion zur Überbrückung des Spalts (11) könnte unmittelbar beispielsweise eine Betondecke aufgebracht werden.



Große Kuppelgewölbe wurden bereits im Mittelalter errichtet und zählen zu den stabilsten Konstruktionen zur Überdachung großer Räume.

Die geschlossene Bauweise bei dem Stülpmembranspeicher in Figur 2 ermöglicht es, den Raum (10) oberhalb der dichtenden Stülpmembran (1), ebenfalls mit Flüssigkeit, wie Wasser, zu füllen.

Damit erreicht man an den Anschlussstutzen für den hohen (15) und niedrigen Druck (14) der Pumpe/Turbine (16) stets gleichbleibende Drücke, unabhängig von der Kolbenstellung und damit unabhängig vom Ladezustand des Energiespeichers.

Das stellt einen erheblichen Vorteil gegenüber fast allen anderen Wasserspeichersystemen dar, die nahezu alle auf unterschiedliche Druckverhältnisse in Abhängigkeit des Ladezustands ausgelegt werden müssen. Dieser Vorteil ergibt sich auch gegenüber Druckluftspeichern, bei denen abgesehen von Gleichdrucksystemen ebenfalls erhebliche Druckunterschiede zwischen den Ladezuständen verarbeitet werden müssen. Auch Batteriespeicher weisen oft deutliche Spannungsunterschiede zwischen entladem und aufgeladenem Zustand auf.

Pumpen und Turbinen bzw. Pumpturbinen eines Stülpmembranspeichers dieser Bauart könnten deshalb auf die stets gleichbleibenden Systemdrücke niedrig (14) und hoch (15) ausgelegt und optimiert werden. Das lässt gegenüber Systemen, die auf wechselnde Druckverhältnisse ausgelegt werden müssen, höhere Wirkungsgrade erwarten.

Figur 2 zeigt zusätzlich die Möglichkeit, den Stülpmembranspeicher in Untergründe (20) ohne Eigenstabilität einzubauen, indem die Einfassung mit einer Schale/Auskleidung (18), zum Beispiel aus Beton, versehen wird.

Diese kann bei Bedarf, zum Beispiel durch eine Faserverstärkung, aber auch durch eine Armierung, den zu erwartenden Lastanforderungen angepasst werden. Zudem ermöglicht die Schale (18) eine definierte Abdichtung des Energiespeichersystems bzw. des Stülpmembranspeichers gegenüber der Umgebung (20), so dass Wechselwirkungen mit dem Grundwasser ausgeschlossen werden können.

Weiter zeigt Figur 2 auch den Kolben (2) mit einer Schale/Hülle (19) versehen, um dessen Stabilität und Dichtheit bei Untergrundverhältnissen ohne ausreichende Eigenstabilität und/oder ohne ausreichende Wasserundurchlässigkeit sicher zu stellen.

Das bzw. eine solche Schale (19) garantiert die definierte Langzeitstabilität des Kolbens (2).

Auch diese Schale (19) um den Kolben (2) kann beispielsweise aus Beton gefertigt werden und durch geeignete Faserverstärkung und/oder Armierung an die auftretenden Belastungsanforderungen angepasst werden.

Sowohl die Kolbenschale/-hülle (19) als auch die Einfassungsschale-/auskleidung (18) weisen jeweils eine Bodenplatte (111, 112) auf, welche nach üblicher bergmännisch

Verfahrensweise in großer Tiefe als zwei voneinander trennbare Betonplatten eingezogen werden können.

Je nach vorteilhafteren Umständen können die Bodenplatten (111, 112) vor oder nach der Erstellung des Spalts (11) angelegt werden. Ggf. kann auch die Anlegung eines Brunnens, der das Grundwasser während der Bauzeit unter die Einfassungsbodenplatte (112) absenkt, von Vorteil sein.

Figur 3 zeigt einen Stülpmembranspeicher mit einer durch ihn ausgebildeten künstlichen Landschaft, hier eines Hügels.

Bei diesem Stülpmembranspeicher wird bzw. werden der Aushub des Stülpmembranspeichers bzw. dort anfallende Erdbauvolumina so eingesetzt dass er bzw. sie einen Hügel um die nach oben gezogene Einfassung (3) ausbildet bzw. ausbilden.

Der Hügel kann genutzt werden, um darauf eine Windenergieanlage (vgl. Figur 3) zu errichten, die damit auf eine höhere Nabenhöhe und in ein höheres Windgeschwindigkeitsniveau gelangt.

Der Stülpmembranspeicher könnte dabei zum Beispiel so an die Windenergieanlage angepasst werden, dass diese stets bedarfsgerechten Strom liefern kann.

Figur 4 zeigt einen Stülpmembranspeicher mit einer Parallelnutzung seines Speichervolumens und seiner dabei eingesetzten Flüssigkeit bzw. seines dabei eingesetzten Wassers als Großwärmespeicher, z.B. als saisonalen Wärmespeicher.

D.h., das große zur (Lage-)Energiespeicherung eingesetzte Speichervolumen bzw. das diesbezügliche Flüssigkeits- bzw. hier beispielsweise Wasservolumen (4) des Stülpmembranspeichers einschließlich dem Kolbenvolumen (21) und, sofern gegenüber der Umgebung keine Wärmedämmung eingezogen wird, die angrenzenden Umgebungsbereiche des Untergrunds (20) und der eventuell aufgeschütteten künstlichen Landschaft (22) werden so als saisonaler Wärmespeicher genutzt.

Zur Verminderung von Wärmeverlusten an die Umgebung ist der Stülpmembranspeicher einschließlich der miterwärmten Untergrundumgebung mit einer dafür geeigneten Wärmedämmung (118) abgedeckt. Diese Wärmedämmung ist wiederum von einer schützenden Abdeckung (119) überdeckt, welche beispielsweise Sickerwasser fern halten kann und ggf. eine Nutzung oder Begrünung der Oberfläche zulässt.

Da die Stülpmembran (1) des Stülpmembranspeichers, wie Figur 4 zeigt, jeweils nur die halbe Strecke des Kolbenhubes an der Außenwand überdeckt, können in allen darunter und darüber liegenden Bereichen auf einfache Weise, wie zum Beispiel in Fermentern von

Biogasanlagen üblich, Wärmetauscherelemente, hier Heizspiralen/-schlangen (25), an der Schale (18) zur Einfassung (3) angebracht werden.

Diese Heizspiralen (25) können spiralförmig umlaufend, wie in Figur 4 schematisch dargestellt, angebracht werden, um der sich über die Höhe natürlich einstellenden Temperaturschichtung zu folgen.

Andere Anordnungen der Heizschlägen (25) sind ebenso möglich, wie deren Einbau in die Innenschale (18) oder freistehend im Spalt (11).

Am obersten Zu-/Ablauf (27) stellt sich die höchste Temperatur des – als Wärmespeichersystem parallel genutzten - Stülpmembranspeichers ein, am untersten Zu-/Ablauf (26) die niedrigste.

Zur Aufladung des Wärmespeichers („im“ Stülpmembranspeicher) ist warmes Wasser in Fließrichtung (30) einzuspeisen und die korrespondierende Menge kühleren Wassers aus dem Heizleitungssystem in Fließrichtung (32) zu entnehmen.

Zur Wärmeentnahme ist kühleres Wasser in Fließrichtung (33) einzuspeisen und wärmeres Wasser in Fließrichtung (31) zu entnehmen.

Eine angedeutete Heizzentrale (29) dient, wie Figur 4 zeigt, als Schnittstelle zwischen dem Wärmespeicher und den Wärmenutzern. Diese können über ein Wärmenetz verbunden sein und sowohl Wärme liefern als auch anfordern.

Mit Sonnenkollektoren auf den Dächern des versorgten Siedlungsgebiets könnte damit die reichliche Überschusswärme des Sommers gespeichert und in der kalten Jahreszeit wieder abgerufen werden.

Die verfügbare Wärmespeicherkapazität dieses Stülpmembran-Wärmespeichersystems wäre so groß, dass bei entsprechender Abstimmung auf die angeschlossenen Prosumer (Verbraucher, die gleichzeitig Produzenten sind) der jahreszeitliche Wärmehaushalt ganz ohne Wärmepumpen und allein durch die Umwälzung gedeckt werden kann.

Bei der parallelen Nutzung des Stülpmembranspeichers als Wärmespeicher ist davon auszugehen, dass die Wassertemperaturen an Pumpe und Turbine oder Pumpturbine so hoch sind, dass Maßnahmen ergriffen werden müssen, damit diese Temperaturen nicht das gesamte Kraftwerksgebäude aufheizen. Dies ist, wie Figur 4 zeigt, durch die „thermische Trennung“ (34) angedeutet, die beispielsweise durch eine thermische Trennschicht und/oder thermisch dämmenden Medien ausgeführt werden kann.

Die dabei auftretenden Temperaturen sind aber erheblich niedriger als beispielsweise bei Gas- und Dampfkraftwerken, wo es Stand der Technik ist, mit wesentlich höheren Temperaturen und Drücken umzugehen.

Eine solche parallele Nutzung des Stülpmembranspeichers als Wärmespeichers ist besonderes dann zweckmäßig, wenn der Stülpmembran(-Wärme-)speicher in der Nähe zu einem Siedlungsgebiet errichtet wird.

Eine ausschließlich regenerative ganzjährige Beheizung ganzer Ortschaften wird damit möglich. Raumheizungen können mit Vorlauftemperaturen ab ca. 65 °C betrieben werden. Ggf. ließe es sich realisieren, das Wasservolumen im Sommerhalbjahr bis zu einer Temperatur von beispielsweise 85 °C zu erwärmen. Dann stünde die Wärmespeicherkapazität von 20 °C Temperaturdifferenz des im Stülpmembranspeicher enthaltenen Wassers einschließlich des Kolbenvolumens und des umgebenden Erdreichs zur Verfügung. Natürlich können auch davon abweichende, höhere oder niedrigere Maximal- und Minimaltemperaturen im Speicher während einer Heizperiode angestrebt oder bei der Auslegung berücksichtigt werden. Ebenfalls ist mit Schwankungen der auftretenden Temperaturgrenzen von Jahr zu Jahr zu rechnen.

Figur 5 zeigt einen oben offenen Stülpmembranspeicher.

Wesentlicher Unterschied zu einem üblichen Lageenergiespeicher ist, wie Figur 5 verdeutlicht, die Anwendung der Stülpmembran (1) zur Trennung der hydraulischen Druckbereiche. Weiterer Unterschied zu bisherigen Lageenergiespeichern ist die Option zur Schaffung von definierten Hüllen (18), (19) sowohl gegenüber der Umgebung (20) als auch gegenüber dem Kolben (2). Durch die damit verbundene Abdichtung und mechanische Stabilisierung der Funktionsflächen am Kolben (2) bzw. an deren Einfassung (3) kann auch in Untergründen (20), die nicht aus ausreichend stabilem Fels oder Bodenmaterial bestehen, das Prinzip der Speicherung potentieller Energie durch hydraulische Anhebung großer Massen angewandt werden. Der durch den Bau der Ausmantelung und Ummantelung herbeigeführte definierte Zustand der Funktionsflächen führt zudem zu einer Verminderung unvorhersehbarer Risiken, zum Beispiel durch Wasserwegsamkeiten oder Rissstrukturen im Untergrund beim Bau und Betrieb einer derartigen Speicheranlage.

Die linke Bildhälfte von Figur 5 zeigt den entladenen Zustand (39) des Stülpmembranspeichers, die rechte Bildhälfte von Figur 5 dessen maximal aufgeladenen Zustand (40).

Bei einer Anhebung des Kolbenschwerpunkts über die Stülpzone, wie in der rechten Bildhälfte von Figur 5 dargestellt, ist durch Ein-/Anbau geeigneter (hier nicht explizit dargestellter) Komponenten zur Lagestabilisierung ein ggf. mögliches Kippen des ausgefahrenen Kolbens zu unterbinden.

Eine Kippsicherung (nicht dargestellte) könnte beispielsweise durch seitlich angebrachte, am Kolben gleitende oder abrollende Stützstrukturen oder ggf. auch durch entsprechend geführte, über den Umfang verteilte Halteseile realisiert werden.

Ohne entsprechende Kippsicherungen kann der Kolben nur in eine Lage unterhalb der Kippgrenze hochgefahren werden, was sich durch entsprechende Dimensionierung der geometrischen Parameter des Speichersystems sicherstellen lässt.

Gegenüber einem geschlossenen Stülpmembranspeicher – mit geschlossener Einfassung (3) - (vgl. Figur 2) kann beim offenen Stülpmembranspeicher – mit nach oben offener Einfassung (3), wie ihn Figur 5 zeigt, der Kolben (2) höher ausgeführt werden, weil er in den freien, nicht von Wasser umgebenen Raum (42) oberhalb der Einfassung (3) aufsteigt.

Der Kolben (2) erhält damit bei gleichem Durchmesser eine größere Masse. Dies erhöht entsprechend die Speicherkapazität des Stülpmembranspeichers.

Als Folge muss für das beim Absenken des Kolbens (2) verdrängte Wasser ein zusätzliches Speichervolumen außerhalb der Einfassung (3) errichtet werden. Dies kann auf vielerlei Weise umgesetzt werden. Beispielhaft ist dazu in Figur 5 ein Ringbecken (35) angedeutet, um diese Aufgabe zu übernehmen.

Damit würde auch eine bauliche Barriere als Zugangsschutz zum frei aufsteigenden Kolben (2) und den vor Eintragungen zu schützenden Spalt (11) entstehen.

Eine angemessene technische Lösung zur Spaltabdeckung (41) sollte dazu angebracht werden. Sowohl zur Spaltabdeckung als auch zur Anordnung des Ausgleichsbeckens sind vielfältige technische Lösungen nach dem Stand der Technik möglich.

Der offene Stülpmembranspeicher führt zu veränderlichen Drücken am Zulaufstutzen (14) und am Ablaufstutzen (15) der Turbine, Pumpe oder Pumpturbine (16). Je nach verfügbarer Oberfläche für das Ausgleichsbecken kann das auslegungsrelevante Größenordnungen annehmen und ist bei der Dimensionierung der davon betroffenen Komponenten zu berücksichtigen.

Figur 6 zeigt einen „offenen“ Stülpmembranspeicher mit einer schwimmenden Abdeckung (43) des oberen Speichervolumens (10).

Auch der Kolben (2), der in der linken Bildhälfte von Figur 6 am unteren, in der rechten Bildhälfte von Figur 6 am oberen Totpunkt dargestellt ist, wird hier mit einer flachen Oberseite angenommen.

Da bei dieser, mit der Schwimmdecke (43) abgedeckten Ausführung des Speichersystems, das Wasservolumen vollständig innerhalb des Systems „Stülpmembranspeicher“ verbleibt, wird es nur zwischen der unteren Druckzone (4) und der oberen nur unter hydrostatischem Eigendruck stehenden Zone (10) ausgetauscht.

Der Wasserstand unter der oberen Abdeckung/Schwimmdecke (43) bleibt dabei unabhängig vom Ladezustand, abgesehen von der Auswirkung marginaler Dichteänderungen des Wassers, immer gleich.

Die Oberfläche der Schwimmdecke (43) kann bei entsprechender konstruktiver Gestaltung zum Beispiel mit Photovoltaikanlagen(44) bestückt werden, wie sie in Figur 6 angedeutet sind.

Auch kann die Schwimmdecke (43) wegen der in der Regel kreisrunden Ausführung der Anlage/des Stülpmembranspeichers auf einfache Weise drehbar angebracht werden. Damit können die Photovoltaikanlagen stets optimal in Richtung der Sonne ausgerichtet werden.

Alle weiteren Komponenten des Stülpmembranspeichers inklusive der möglichen Einbauten für eine gleichzeitige Nutzung als Wärmespeicher (vgl. Figur 4), sind in Figur 6 nicht explizit eingezeichnet, weil sie analog, wie in den anderen Figuren angebracht werden können. Bei einer Nutzung des Speichersystems als Wärmespeicher ist in der Schwimmdecke (43) eine geeignete Wärmedämmung vorzusehen.

Figur 7 verdeutlicht die Herstellung eines Energiespeichers aus Einfassung (3) und darin beweglichem Kolben (2), insbesondere eines Stülpmembranspeichers, mit einer nahezu horizontal liegenden Fräsbetoniereinheit (55). Beim Abfahren des spiralförmigen Fahrwegs in den Untergrund nimmt die Fräsbetoniereinheit (55) eine gewisse Abwärtsneigung gegenüber der Horizontalen ein.

Diese Fräsbetoniereinheit (55) erlaubt es, große und tiefe umlaufende Spalte mit betonierten Wandschalen in einem kontinuierlichen Verfahren direkt herzustellen.

Die Fräsbetoniereinheit (55) arbeitet sich dazu schraubenförmig wie ein Korkenzieher nach unten. Sie schneidet dabei in einem Durchgang den Spalt frei, verbreitert ihn um die Dicke der Betonschalen und betoniert diese auch gleich in einem kontinuierlichen Prozess.

Die Fräsbetoniereinheit ist in Vorwärtsrichtung mit den Fräsköpfen (45) vergleichbar zu einer vertikalen Schlitzwandfräse aufgebaut. Die in Vorschubrichtung (52) zunächst freizuschneidende Breite ist etwas schmaler als der letztendlich verbleibende Ringspalt (11), damit die Fräseinheit zum Beispiel nach Fertigstellung des Bauwerks auch wieder herausgefahren werden kann.

Mit anschließenden Seitwärtsfräseinheiten (46) für die Betonschale (18) des Außenzylinders (3) und (47) für die Betonschale (19) des Kolbens (2) wird der Schlitz auf Spaltbreite (11) plus die Wandstärken der Betonschalen (18) und (19) verbreitert. Die Seitwärtsfräseinheiten sind dabei so angebracht, dass sie auch zurückgefahren werden können. Das ermöglicht das Ausfahren der Fräsbetoniereinheit (55) am Ende der Spaltherstellung. Ebenso könnte die kolbenseitige Einheit (47) in Tiefenbereichen außer Betrieb bleiben, in denen noch kein

Kolben (3) erstellt wird. Siehe dazu die Darstellungen der Figuren 2, 3, 4 und 6. Die Einstellung einer variablen Frästiefe der seitlichen Fräseinheiten (46) und (47) würde es auch zulassen, in Untergrundzonen mit genügend Eigenstabilität und Dichtheit, die keine Wandschalen erfordern, lediglich die Spaltbreite (11) freizuschneiden.

Das freigeschnittene Material wird mit Hilfe der eingesetzten Spül-/ Stützflüssigkeit über Pumpsysteme durch Rohrleitungen und Kanäle (58) aus dem Spalt befördert. Über flexibel ausfahrbare Sperrschieber (56) und (57) und Abpumpeinrichtungen (58) kann dafür gesorgt werden, dass der Raum hinter dem Frässystem nach Möglichkeit weitgehend trocken bleibt. Nicht eingezeichnet ist die Zufuhr der Spül-/Stützflüssigkeit in den Bereich der Fräseinrichtungen.

In den Bereichen (48) und (49) befinden sich die seitlichen Führungseinheiten der Fräsbetoniereinheit (55). Diese stützen die freigeschnittenen Bodenbereiche gegen das Ausbröckeln weiteren Materials. Hauptaufgabe der Führungseinheiten ist, durch seitliche Anpresskräfte, die damit ausgeübt werden können, der Fräsbetoniereinheit (55) die präzise Vorschubrichtung aufzuprägen. Dazu sind diese mit Einrichtungen versehen, die ihre Beweglichkeit unter der erforderlichen Kraftausübung in die durch die Pfeile (59) und (60) angedeutete Richtung ermöglichen. Die Kraftausübung dabei kann auch senkrecht zur Darstellungsebene differenziert so dosiert werden, dass eine exakte Ausrichtung der Anlage gewährleistet wird.

Diese Führungseinheiten (48), (49) sind wie die seitlichen Fräseinheiten (46), (47) und die Sperrschieber (56), (57) so weit verschiebbar, dass sie auf ein Maß innerhalb der verbleibenden Spaltbreite (11) zurückgefahren werden können. Damit lässt sich die gesamte Fräsbetoniereinheit (55) nach Fertigstellung des Bauwerks, aber auch zu Wartungs- und Reparaturzwecken, rückwärts aus dem Spalt herausfahren. Wird in bestimmten Bereichen, zum Beispiel oberhalb des Kolbens, noch keine Wandschale benötigt, dann kann durch die vorgesehene Beweglichkeit (60) der Führungseinheit, diese auch in einem eingefahrenen Zustand ihre Aufgabe erfüllen.

Anschließend folgen die Einbringvorrichtungen für den Beton. Im Bereich (53) wird der zähflüssige, bei Bedarf auch faserverstärkte Beton für die Außenschale eingebracht, im Bereich (54) für den Kolbenmantel.

Danach folgt in den Bereichen (50) zylinderseitig und (51) kolbenseitig eine mobile Schalungseinheit, die den eingebrachten Beton bis zum Erreichen einer ausreichenden Festigkeit auf definiertem Abstand zum freigeschnittenen, dahinter befindlichen Bodenmaterial der Umgebung (20) hält. Die Länge dieser mobilen Schalungssysteme ist dabei so zu wählen, dass bei der erreichten Vorschubgeschwindigkeit der Fräseinheit ausreichend Zeit zum Abbinden des eingesetzten Betons zur Verfügung steht.

Nach Durchfahrt der Fräsbetoniereinheit (55) bleiben die eigenstabilen Wandschalen (61) und (62) zurück.

Der Spalt wird von der Erdoberfläche beginnend, sich schraubenförmig nach unten windend, erstellt. Die Spalthöhe, die in einem Durchgang gefertigt wird, bestimmt den Tiefenvorschub pro Umlauf. In Anlehnung an die Schlitzbreite konventioneller, senkrecht bewegter Schlitzwandfräsen, kann die Schlitzhöhe der Fräsbetoniereinheit (55) beispielsweise in einem Bereich von einem bis drei, vier oder fünf Metern gewählt werden. Die Straßentransportierbarkeit der Systeme bei Baustellenwechsel ist dabei zu berücksichtigen.

Die Entwicklung geeigneter Größenabmessungen erfordert weitergehende Untersuchungen. Festigkeitsmäßig ist dabei zu beachten, dass auch die Führungseinheiten (48), (49) und die mobile Schalungseinheiten (50), (51) auf diese Fräshöhe auszulegen sind.

Auch die Frage, ob sich in der Bauphase oder bei Revisionsarbeiten Personen im Spalt aufhalten müssen, ist bei der Wahl der Abmessungen zu berücksichtigen.

Vorteilhaft an dieser Art der Ringspaltfertigung ist, dass die Fräsbetoniereinheit (55) immer von oben durch den Spalt sichtbar und zugänglich ist.

Figur 8 ist eine Vorderansicht zu der Draufsicht auf die Fräsbetoniereinheit (55) in Figur 7 und zeigt die Vorwärtsfräsköpfe (45) von vorne.

Die Anzahl dieser (hier) vier dargestellten Fräsköpfe (45) wird mit der Zeichnung nicht festgelegt. Wie bei konventionellen Schlitzwandfräsen könnten auch nur zwei Fräsköpfe eingesetzt werden, die übereinander angeordnet werden. Auch andere Anzahlen und Anordnungen von Fräsköpfen sind möglich.

Die stets vorhandene Zugänglichkeit von oben eröffnet für dieses Verfahren auch die Möglichkeit der senkrechten Anordnung oder der schrägen Anordnung von Fräsköpfen (45) bei der Fräsbetoniereinheit (55), wie gemäß Figur 14.

Seitlich in Figur 8 befinden sich die verschiebbaren Seitenfräseinheiten (46) und (47). Damit diese geführt werden können, wird mit Hilfe der noch vorher in Vorschubrichtung angeordneten Bodenseitenfräser (63) und (64) und der oberhalb angeordneten Anschlussseitenfräser (65) und (66) der erforderliche Platz freigeräumt.

Durch die Schrägstellung der Anschlussseitenfräser (65) und (66) wird gewährleistet, dass bei der Betoneinbringung (53), (54) ein sauberer, von Lunkern weitgehend freier Übergang zu der darüber liegenden Betonschale (18), (19) gewährleistet wird. Diese kann dabei auch, wie gezeigt, schräg angeschnitten werden. Durch entsprechende Profilgebung der Fräser kann auch eine Verzahnung mit dem darüber liegenden, im vorhergehenden Durchgang gefertigten, Schale herbeigeführt werden.

Der bei einem Umlauf der Fräsbetoniereinheit (55) erreichte vertikale Vorschub nach unten (67) ergibt sich aus der Bauhöhe des Frässystems abzüglich der Schrägstellung zur lunkerarmen Verbindung mit dem darüber gefertigten Wandbereich.



Natürlich können bei großem Umfang des Ringspalts auch gleichzeitig mehrere Fräsbetoniersysteme (55) gleichmäßig auf den Kreisumfang verteilt eingesetzt werden.

Der Vorschub pro Umlauf des Einzelsystems vervielfacht sich dadurch um die Anzahl der eingesetzten Systeme. Damit kann die Bauzeit für den Energiespeicher, beispielsweise für den Stülpmembranspeicher, entsprechend reduziert werden. Zu beachten ist dabei nur, dass der Beton des darüber liegenden Bereichs eine ausreichende Festigkeit erreicht haben muss, wenn darunter weiter gearbeitet wird.

Figur 9 zeigt ein mögliches Prinzip zur technischen Umsetzung der mobilen Schalungseinheit (50) in detaillierter Ansicht.

Wie ein breites Förderband läuft, wie Figur 9 verdeutlicht, das Schalungsband (68) zwischen den Umlenkrollen (69) und (70) kontinuierlich, dem Vorschub der Fräsbetoniereinheit (55) folgend um.

Das Band (68) wird definiert und gleichmäßig gegen den anfangs zähflüssigen (71) und dann abbindenden Beton gedrückt.

Dazu befindet sich an seiner Rückseite eine genau der Wandkrümmung angepasste Platte, die mit Kapillarbohrungen versehen ist (72). Durch diese strömt aus einem dahinter befindlichen Hohlraum (73) Druckluft aus.

Über das sich zwischen dem Schalungsband (68) und der „Lochplatte“ (72) befindliche Luftkissen wird eine definierte, reibungs- und verschleißarme Andrückung des Schalungsbands (68) für das Abbinden des Betons erreicht. Durch entsprechende Ausbildung der dahinter befindlichen Konstruktion, kann die Andruckkraft sowohl über die Höhe als auch über die Länge gezielt nach Bedarf angepasst werden.

Figur 10 zeigt in einem Schnitt in der Vorderansicht, zur Draufsicht der Figur 9, Möglichkeiten zur Schaffung des Freiraums, um die Lochplatte (72) „von hinten“ zu erreichen, die erforderlichen Kräfte aufzubringen und die zwischen den Bändern benötigten Funktionen zu erfüllen.

Durch schräg gestellte Umlenkrollen wird das Schalungsband dazu auf seinem Rückweg in der Höhe eingezogen, so dass um dieses herum ausreichend Zugangsraum entsteht, um insbesondere von der unzugänglichen Unterseite die benötigten Kräfte einzuleiten. Je nach Konstruktion kann aber auch der immer freie Zugang von oben ausreichen, um alle Kraftwirkungs-, Lagerungs- und Bewegungsanforderungen erfüllen zu können.

Auch die in Figur 7 gezeigten Führungseinheiten (48) und (49) können nach analogen Prinzipien, wie in den Figuren 9 und 10, ausgelegt werden.

Figur 11 zeigt im Teilbild a), wie ein spezielles Schalungsband (75) profiliert werden kann, das im Teilbild b) an der Wandung (19) des Kolbens (2) Rillen (110) hinterlässt, in die nach ausreichender Aushärtung des Betons beispielsweise Stahlseile oder Stäbe (74) unter Zug eingebaut werden können, welche die Betonschale (19) vorspannen.

Sollten innerhalb des Kolbens (2) Instabilitäten des vorhandenen Bodenmaterials dazu führen, dass die Betonschale (19) unter Zugspannung geraten würde, dann ließen sich diese darüber abfangen.

Das Einziehen der Zugseile oder der Zugstäbe (74) in die Aussparungen/Rillen (110) kann dabei sukzessive im Nachlauf zur Herstellung des Ringspalts (11) erfolgen.

Relevante Zugspannungen im Beton sind erst bei großen Wandhöhen zu erwarten, wenn diese nicht vorgespannt wurden.

Der kontinuierliche Prozess mit zeitnahe Einbau vorgespannter Zugseile (74) verhindert, dass derartige Situationen überhaupt erst eintreten. Durch Seilklammern oder Zugstabbefestigungen (nicht dargestellt), die dazu im Beton der Wandung (19) verankert werden, kann die Vorspannung insbesondere während des Einbaus immer wieder gesichert und in die Wandschale (19) eingeleitet werden.

Diese Vorspannseile oder Vorspannstäbe (74) können auch ohne die vorgeschlagenen Rillen (110), durch direkte Befestigung an der Wandung (19), angebracht werden.

Sollte anschließend eine Nachbearbeitung der Kolbenaußenfläche, beispielsweise die Aufbringung einer Betonschutzschicht (109) z.B. aus Spritzbeton zur Korrosionsvermeidung oder zur Glättung der Oberfläche, insbesondere zur Anbringung der Stülpmembran im Falle eines Stülpmembranspeichers, erforderlich sein, dann kann dies ebenfalls sukzessive im Nachgang erfolgen.

Dabei ist zu beachten, dass die verbleibende Spaltbreite das Ausfahren der Fräsbetoniereinheit (55) weiterhin ermöglicht.

Figur 16 zeigt den unteren Abschluss des Kolbens (2) und der außen umhüllenden Einfassung (3) durch zwei halbkugelförmige ausgebildete Schalen (91, 92) im Anschluss an die zylindrischen Schalen-/Hüllenabschnitte (19, 18) eines Kolbens (2) bzw. einer Einfassung (3) bei einem Stülpmembranspeicher (im fertig eingebauten Zustand).

D.h., Kolbenboden und Einfassungsboden weisen hier jeweils eine halbkugelförmige Form auf – und sind mittels entsprechend geformter bzw. diese formende Schalungen bzw. Hülle/Verkleidung (19, 18) verkleidet.

Eine derartige Kolbenschalung (19) bzw. Einfassungsverkleidung (18) mit zwei halbkugelförmigen Schalen (91, 92) ist insbesondere geeignet, um einen bezüglich der auftretenden Belastungen besser erfassbaren unteren Abschluss eines aus dem Untergrund freigeschnittenen Kolbens (2) zu realisieren.

Diese beiden halbkugelförmigen Schalen (91, 92) sind in ihrer Schalenstärke und mit ihrem gegenseitigen Abstand (11) so aufgebaut, dass zu ihrer Herstellung bevorzugt, aber nicht notwendiger Weise, die gleiche Fräsbetoniereinheit (55) eingesetzt werden kann, die schon die Herstellung der zylindrisch geformten Einfassungsauskleidung (18) und der Kolbenschale (19) übernehmen.

Wie Figur 16 verdeutlicht, wird die den Kolben (2) unterseitig umfassende Halbkugelschale (91) während der Bauphase über die einstellbaren Abstandshalter (93) in definiertem Abstand zur halbkugelförmigen Außenschale (92) der Einfassung (3) gegenüber dem Boden (20) gehalten.

Auf diese versetzbar angebrachten Abstandshalter (93), die nach dem streifenweisen Bau dieser Bodenschalen (91, 92) eingebracht werden, kann der Kolben (2) auch bei einer erforderlichen Revision des Systems abgesenkt werden, wenn beispielsweise für eine Kontrolle oder Erneuerung der Stülpmembran (1) das im System befindliche Wasser entnommen werden muss.

Die Abstände der Stützkörper (93) zueinander und die Festigkeit der Schalen (91) und (92), sofern diese angebracht werden, sind so auszulegen, dass einzelne Stützkörper (93) jederzeit entnommen oder versetzt werden können und gleichzeitig zwischen den Stützkörpern (93) genügend Bewegungsraum frei bleibt, um die erforderlichen Arbeiten an den Schalen (91, 92), zum Beispiel nachträgliches Anbringen einer Armierung, ausführen zu können und die Versetzung der Stützkörper (93) selbst durchführen zu können.

Bei der realen Umsetzung eines Stülpmembranspeichers werden die Dimensionen der Betonschale (19) um den Kolben (2), der äußeren Betonschale (18) der Einfassung (3) zur Umgebung (20) und der Spaltdicke (11), klein gegenüber den Abmessungen des Gesamtsystems sein.

Figur 17 zeigt skizzenhaft eine Ausführung einer Fräseinheit und einen Anfang einer Führungseinheit einer Fräsbetoniereinheit (55), die zum Freiräumen und zur Betonage der Schalen (91, 92) eines halbkugelförmigen Kolbens (2)/Einfassung (3) bzw. Kolbenbodens (111)/Einfassungsbodens (112) eingesetzt werden kann.

Je nach Notwendigkeit zur Anfertigung/Betonage der Schalen (91, 92) können die seitlich ausfahrbaren Fräseinheiten (96, 97) zum Einsatz gebracht werden. Das hängt von der jeweiligen Stabilität und der Wasserundurchlässigkeit des Untergrunds (20) ab.

Nach den schon in Figur 7 gezeigten Bauprinzipien kann die Fräsbetoniereinheit (55) nach der Fertigung eines Betonstreifens zurückgefahren werden.

Die Seitwärtsfräseinheiten (96, 97) und die Führungseinheiten werden dazu seitlich eingezogen. Die gesamte Fräsbetoniereinheit (55) kann dann rückwärts aus dem fertig gestellten Spaltstreifen heraus bewegt werden und zur Anfertigung eines weiteren Streifens eingesetzt werden.

Der Pfeil (94) in Figur 17 zeigt die Vorschubrichtung. (95) zeigt die Fräseinheit der Fräsbetoniereinheit (55) zur Freiräumung des Spalts (11). Dieser wird durch die Seitenfräseinheiten (96) und die Randbereichsfräsräder (97) der Fräsbetoniereinheit (55) verbreitert, um Platz für die nachfolgend gefertigten Betonschalen (91, 92) zu schaffen.

Die entstehende Spaltfläche bietet ausreichend Freiraum, damit die Fräsbetoniereinheit (55) anschließend rückwärts aus dem geschaffenen Spalt (11) heraus bewegt werden kann.

Figur 17 zeigt in der unteren (bzw. rechten) Bildhälfte die Führungseinheit und die Seitenfräseinheit (96, 97) im eingefahrenen Zustand, der beim Ausfahren aus dem Spalt (11) eingenommen wird. Eine Möglichkeit zur exakten Positionierung und Lagehaltung der beiden Seitwärtsfräseinheiten (96, 97) ist durch die Gelenklösung (102) angedeutet.

Ebenfalls nicht gezeigt sind die Antriebssysteme für die Fräsköpfe und die Zu- und Abfuhr der Spül- und Stützflüssigkeit.

Zur Anpassung an den zu schaffenden Radius der Zylinder- bzw. Kugelschalen (91, 92) verfügt die Fräsbetoniereinheit (55) in Vorschubrichtung (94) in den dafür erforderlichen Abständen fein justierbare Gelenke, wie in (101) skizzenhaft angedeutet, um die erforderliche Krümmung einzustellen.

Zur Freiräumung der halbkugelförmigen Spaltfläche (11) unter dem Kolben (2), wie in Figur 20 gezeigt, wird die Fräsbetoniereinheit (55) senkrecht von oben, geradlinig gestreckt, in den zylinderförmigen Ringspalt (11) zwischen Kolben (2) und Außenmantel (18) der Einfassung (3) abgesenkt.

So wie die Fräsbetoniereinheit (55) unter den Kolbenboden (111) einfährt, nimmt sie sukzessive durch Winkelveränderung der Gelenke (101) die Krümmung der Kugelhalbschale (91, 92) an.

Die Krümmung der Führungsflächen und der Schalungsflächen zwischen diesen Gelenkpunkten wird über flexible Einstellmechanismen gesteuert, die mit den Elementen (103) skizzenhaft angedeutet sind.

Die Figuren 16 bis 20 zeigen jeweils weitere Details der Fräsbetoniereinheit (55) und deren Arbeits-/Betriebsprinzip. Die Radien, Schalenstärken, Spaltabmessungen und Längenverhältnisse sind den auftretenden Kräften und den Abbindezeiten des eingesetzten Betons anzupassen.

Der Freiraum zum Umgreifen der Führungs- und Schalungsbänder vom Innenraum der Fräsbetoniereinheit (55) aus, wird durch eine seitlich abgewinkelte Führung dieser Bänder im Rücklauf erreicht, wie sie auch in Figur 10 dargestellt ist.

Figur 18 zeigt die Fräseinheit der Fräsbetoniereinheit (55) beim Freiräumen eines Streifens unter dem Kolbenboden von vorne.

Das Untergrundmaterial im Bereich (113) wird anschließend den Kolben (2) bilden, dessen Unterseite von der Betonschale (91) ummantelt wird. Das die Einfassung (3) mitbildende Untergrundmaterial im Bereich (114) (im Untergrund (20)) wird anschließend durch die Betonschale (92) von dem Spaltraum (11) getrennt, um Wechselwirkungen mit dem Grundwasserregime der Umgebung (20) zu vermeiden.

Nachdem die Fräsbetoniereinheit (55) einen Streifen der halbkugelförmigen Kolbenunterseite fertiggestellt hat und rückwärts ausgefahren ist, wird der fertige Streifen mit flexiblen Stützkörpern (93) unterbaut. Diese werden mit geeigneten Fahrgestellen in Position gebracht und dann so zwischen Außen- (92/18) und Innenschale (91/19) verspannt, dass sie genau die Stützkraft aufnehmen, die vorher das freigeräumte Bodenmaterial aufbrachte.

Vor Inbetriebnahme des Stülpmembranspeichers werden die Stützelemente (93) fest auf der Unterschale (92) verankert, damit der Kolben (2) bei einer eventuellen späteren Revision des Stülpmembranspeichers wieder darauf abgestellt werden kann.

Figur 19 zeigt in einer Draufsicht eine nummerierte Reihenfolge, in der die einzelnen Streifen (115) der halbkugelförmigen Außen-/Innenschalen (92, 91) von Kolben (2) und Einfassung (3) angelegt werden, bzw. von der Fräsbetoniereinheit (55) abgefahren werden (Fahrwege).

Maßstäblich wären die einzelnen Streifen (115) in Bezug auf das Gesamtbauwerk wesentlich schmaler und die Anzahl der Streifen (115) entsprechend größer. Damit spielt die minimale Abweichung der damit streifenweise aneinander gereihten Zylinderflächen von einer ideal sphärisch gekrümmten Kugeloberfläche keine Rolle.

Bei der Anfertigung können mehrere Fräsbetoniereinheiten (55) gleichzeitig zum Einsatz kommen, wenn eine kurze Bauzeit angestrebt wird.

Mit zunehmendem Fortschritt der Baumaßnahme werden die jeweils frei zu räumenden und zu verschalenden Spaltlängen immer kürzer, weil sich die Streifen (115) zum Zentrum (116) hin überschneiden.

Im Zuge der Maßnahme kann es vorkommen, dass einzelne Distanzhalte- und Kraftaufnahmeelemente auch umgesetzt werden müssen, wenn sie der Fräsbetoniereinheit

(55) bei einem später anzulegenden Streifen (115) beim Übergang zu einem bereits vorher angelegten Streifen (115) im Wege stehen.

Dieses Herstellverfahren bringt es mit sich, dass bereits gefertigte Schalenabschnitte weggefräst und erneut anbetoniert werden müssen.

Das Herstellverfahren der unteren Kugelhalbschalen (der Einfassung (3)) ist so angelegt, dass am Anfang der natürlich vorhandene Untergrund den bereits seitlich freigeschnittenen Kolben (2) trägt. Dieser wird dann streifenweise untertunnelt, und gleich mit der kolbenseitigen- und der außenseitigen Betonschale (19) versehen. Die Injektion von Bindemitteln in ggf. lockere oder unzureichend stabile Bodenbereiche hinter den Schalen kann ggf. zusätzlich angewandt werden um die Bauwerksstabilität zu erhöhen.

Die anschließende Abstützung dieser Betonschalen durch die Stützelemente (93) sorgt dafür, dass zu keiner Zeit Belastungszustände auftreten, welche die Stabilität des Bauwerks gefährden.

Die Ausführung des Bauwerks ermöglicht es, in die kolbenseitige Schale (19), in der auch Zugspannungen auftreten können, Bewehrungsstrukturen einzubringen. Die damit herstellbare Vorspannung kann so angelegt werden, dass die Betonschale (19) der Kolbenmantelfläche keine schädigungsrelevante Zugbelastung erfährt, welche die Dichtheit und Stabilität dieser Fläche gefährdet.

Figur 12 zeigt eine vor der Kolbenhülle (19) verklebte Stülpmembran (1) als Ausführung mit zweilagigen Bändern (76, 77).

Die Bänder der unteren Lage (76) werden dazu sauber nebeneinander ausgerichtet am Kolben (2) bzw. an dessen Hülle (19) in der benötigten Länge abgehängt und oben und unten durch geeignete Vorrichtungen gesichert. Darüber werden mittig versetzt die Bänder der oberen Lage (77) in gleicher Weise angebracht.

Figur 13 verdeutlicht eine rationelle und sichere Verklebung der Bänder (76, 77) der beiden Lagen.

Dazu werden auf den jeweiligen Innenseiten der Bänder (76, 77) vorab mikrokapselte Klebstoffe (78), (79) aufgetragen, die unter Druck aufgeschlossen werden. Die Beschaffenheit dieser Klebstoffe sollte möglichst so zu sein, dass diese beim normalen Umgang mit den Bändern (76, 77) während der Montage keine arbeitsbehindernden Klebeeigenschaften zeigen.

Die Klebstoffeigenschaften müssen langzeitstabil die wasserdichte Verbindung der beiden Membranlagen sicherstellen. Sowohl Zweikomponenten-Klebsysteme mit einer Komponente auf der unteren Lage (76) und der zweiten Komponente auf der oberen Lage (77), als auch

Einkomponenten-Systeme auf beiden Lagen als auch nur die einseitige Aufbringung des Klebers auf (78) oder (79) sind vorstellbar.

Mit einem beweglichen Anpresssystem (80) wird der Klebstoff dann unter der erforderlichen Presskraft (81) aufgeschlossen und zur Wirkung gebracht. Das Anpresssystem kann sich dabei an der gegenüberliegenden Zylinderwand bzw. Verkleidung (18) der Einfassung (3) abstützen und in einem automatisierten Prozess sukzessive alle Bänder miteinander verkleben.

Figur 15 verdeutlicht einen weiteren Schritt bei der Herstellung der Stülpmembran (1).

Wie in Figur 15 dargestellt, wird zum Schluss der Herstellung die über die Kolbenoberkante überstehende Stülpmembran (82) umgestülpt.

Dazu können in geeigneten Abständen Stahlbänder (83) am oberen Rand der Stülpmembran (1) befestigt (88) werden. Diese werden mit einem Zugband (84) versehen (89) und zur Verkleidung (18) der Einfassung (3) hin umgebogen.

Alle Zugbänder (84) werden mit einer Aufwickelvorrichtung (85) verbunden, die rund um die Einfassung (3) bzw. deren Verkleidung (18) angebracht ist.

Lange biegeelastische Rohre, die sich der Zylindermantelform der Einfassung (3) anpassen, können verwendet werden, um die Zugbänder (84) gleichmäßig aufzuwickeln und die Anzahl der erforderlichen Wickelantriebe zu begrenzen.

Nachdem die Stülpmembran (1) in den Anschlag (90) der vorgesehenen Endposition eingezogen wurde, wird sie wasserdicht und dauerbetriebssicher mit der Verkleidung (18) der Einfassung (3) verbunden (87).

Damit ist die untere Druckkammer im Stülpmembranspeicher abgeschlossen.

Die Entfernung der verbleibenden Montagmaterialien kann nun zum Beispiel über den Druckstollen (15) des Kraftwerks erfolgen.

Figur 21 zeigt einen (weiteren) Stülpmembranspeicher mit einer schwimmenden Abdeckung (43) des oberen Speichervolumens (10), ähnlich wie Figur 6.

Die Oberfläche der Schwimmdecke (43) ist auch hier mit – nach Richtung der Sonne ausrichtbaren/drehbaren - Photovoltaikanlagen (44) bestückt.

Auch kann die Schwimmdecke (43) wegen der in der Regel kreisrunden Ausführung der Anlage/des Stülpmembranspeichers auf einfache Weise drehbar angebracht werden. Damit können die Photovoltaikanlagen stets optimal in Richtung der Sonne ausgerichtet werden.

Alle weiteren Komponenten des Stülpmembranspeichers inklusive der möglichen Einbauten für eine gleichzeitige Nutzung als Wärmespeicher (vgl. Figur 4), sind in Figur 21 nicht explizit eingezeichnet, weil sie analog, wie in den anderen Figuren angebracht werden können. Bei einer Nutzung des Speichersystems als Wärmespeicher ist in der Schwimmdecke (43) eine geeignete Wärmedämmung vorzusehen.

Die Außenschale (18) bzw. die Verkleidung (18) der Einfassung (3) des Stülpmembranspeichers eignet sich darüber hinaus auch zur Schaffung großer (abgedichteter) Hohlräume im Untergrund, bei denen durch die Betonschale der Verkleidung (18) eine Wechselwirkung mit dem Grundwasserregime der Umgebung vermieden wird.

Die Schale/Hülle (19) um den Kolben (2) wird in diesem Fall nicht gebaut. Das Bodenmaterial im Innenraum der Einfassung (3) wird stattdessen sukzessive entnommen.

Das ist auch bei einem geschlossenen bzw. unterirdischen Stülpmembranspeicher (vgl. Figur 2) für das Bodenmaterial oberhalb des Kolbens (2) der Fall. Das entnommene Volumen bildet später den Bewegungsraum des Kolbens (2).

Falls beim Bau eines Stülpmembranspeichers das Grundwasser bis unter die Außenschale/Verkleidung (18) abgesenkt wird, kommt es während der Bauphase nicht zu hydrostatischen Drücken, die ein Aufschwimmen der Außenschale/Verkleidung hervorrufen könnten.

Werden die beschriebenen Verfahren jedoch angewandt, um einen mit Außenschale/Verkleidung versehenen großen, an die Erdoberfläche reichenden zylindrischen Hohlraum mit vertikaler Achse und einer nach unten abgedichteten Bodenstruktur zu schaffen, dann kann der Grundwasserdruck nach Beendigung der Grundwasserabsenkung ggf. dazu führen, dass die geschaffene Schale aufschwimmt.

Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, dass die einem eventuellen hydrostatischen Druck entgegen wirkenden Kräfte immer größer sind, als die maximal zu erwartende Auftriebskraft.

Bei einem Stülpmembranspeicher, bei dem der später bewegliche Kolben (2) in etwa über die halbe Höhe der Außenschale/Verkleidung (18) bzw. der Einfassung (3) reicht, ist die Gefahr des Aufschwimmens durch hydrostatischen Druck an der Unterseite nicht gegeben, weil die Bodenmasse des Kolbens (2) aufgrund ihrer Dichte immer eine größere Gewichtskraft ausüben wird, als sich eine hydrostatische Auftriebskraft unter der Außenschale/Verkleidung aufbauen kann.

Im späteren Betrieb, wenn das freigeräumte Volumen für den Spalt (11) und den Bewegungsraum des Kolbens (2) mit Wasser gefüllt wird, sind die Kräfteverhältnisse, die ein Aufschwimmen der Außenschale/Verkleidung verhindern, noch stärker.



Das Verfahren und die beschriebene Maschinenteknik zum Freischneiden und Verschalen großer Ringspalte, d.h. die Fräsbetoniertechnik, kann auch angewandt werden, um Tunnel und zylinderförmige unterirdische Hohlräume mit großen Durchmessern in einem kontinuierlichen Prozess zu fertigen.

Hier sind große Tunnelbohrmaschinen bekannt, welche mit einem rotierenden Fräskopf den gesamten Tunneldurchmesser frei räumen. Hierbei wird das Material des gesamten Tunnelquerschnitts mit entsprechendem Energieeinsatz zermahlen und abtransportiert.

Würde bei geeignet großen Tunneldurchmessern, die den Einsatz der beschriebenen Verfahren und Maschinenteknik, d.h. die Fräsbetoniertechnik, ermöglichen, nur ein Ringspalte freigeräumt und in einem kontinuierlichen Prozess bei Bedarf gleich die Außenschale, d.h. die Schale/Verkleidung der Einfassung, betoniert, dann könnte der verbleibende innere Kern im Nachgang beispielsweise durch energiesparendes Zersägen abgebaut und gegebenenfalls als hochwertiger Steinbaustoff vermarktet werden.

Die schraubenförmige Bewegung der Fräsbetoniereinheit (55) würde sich dann um die Längsachse der Tunnelröhre winden und nicht wie beim Ringspalt eines Stülpmembranspeichers um eine vertikal nach unten gerichtete Achse.

Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichen

- 1 Stülpmembran
- 2 Kolben, Bereich mit Untergrundmaterial für Kolben
- 3 Einfassung, (Außen-)Zylinder/-wand
- 4 Flüssigkeit, untere Druckzone
- 5 Potentialfeld, Krafrichtung des Potentialfeldes (Schwerefeld der Erde)
- 6 (freie) (Kolben-)Bewegung (von (2)), Bewegungsrichtung des Kolbens beim Aufladen
- 7 Bewegungsrichtung des Kolbens beim Entladen bzw. der Entnahme von Energie
- 8 Bereich der flüssigkeitsdichten Befestigung der Stülpmembran gegenüber der Einfassung (3)
- 9 Bereich der flüssigkeitsdichten Befestigung der Stülpmembran gegenüber dem Kolben (2)
- 10 Raum, oberes Speichervolumen, obere Druckzone, nur unter hydrostatischem Eigendruck stehende Flüssigkeit und Raum oberhalb der durch die Stülpmembran abgedichteten, unter Druck stehenden Flüssigkeit
- 11 (Ring-)Spalt(-geometrie/-breite), Spalt zwischen Kolben und Einfassung
- 12 obere Abdeckung
- 13 Kraftwerkkaferne, Kraftwerkgebäude
- 14 niedriger Druck, Zulaufstutzen (mit niedrigem Druck aus dem Wasservolumen über dem Kolben)
- 15 hoher Druck, Ablaufstutzen (mit hohem Druck aus dem Wasservolumen unter dem Kolben), Druckstollen
- 16 Pumpe, (Pump-)Turbine
- 17 Generator
- 18 (Innen-/Beton-)Schale, Hülle (zur definierten Stabilisierung und Formgebung für (3))
- 19 (Beton-)Schale, Hülle (zur Definierten Stabilisierung und Formgebung für (2)), Beton
- 20 Untergrund(-material), Umgebung, Boden
- 21 Bodenmaterial oder Füllmaterial im Kolben
- 22 Aushubmaterial zur Aufschüttung eines Hügels

- 23 Nutzung des Hügels z.B. zur Erhöhung der Nabenhöhe einer Windenergieanlage
- 24 Ursprungsgelände
- 25 Wärmetauscherelemente, Heizschlange, spiralförmig an der Außenwand  
angebrachte Heizschlägen
- 26 unterer (Kaltwasser-)Zu-/Ablauf
- 27 oberer (Warmwasser-)Zu-/Ablauf
- 28 Heizwasser Überleitung (zwischen (4) und (10))
- 29 Heizzentrale, Wärmespeicherschnittstelle eines verbundenen Wärmenetzes
- 30 Fließrichtung, Zulaufrichtung (für Heißwasser zur Einspeicherung von Wärme)
  
- 31 Fließrichtung, Ablaufrichtung (für Heißwasser zur Entnahme von gespeicherter  
Wärme)
- 32 Fließrichtung, Ablaufrichtung (von Kaltwasser bei Einspeicherung von Wärme)
- 33 Fließrichtung, Zulaufrichtung (von Kaltwasser bei Entnahme von gespeicherter  
Wärme)
- 34 thermische Trennung (von (16) und (17))
- 35 Beckenumrandung (eines Ausgleichsbeckens)
- 36 Wasser (in einem Ausgleichsbecken)
- 37 Maximaler Füllstand (eines Ausgleichsbeckens am (39))
- 38 Minimaler Füllstand (eines Ausgleichsbeckens am (40))
- 39 entladener Zustand, unterer Totpunkt (von (2) im total entladenen Zustand des  
Energiespeichers)
- 40 aufgeladener Zustand, oberer Totpunkt (von (2) im maximal aufgeladenen Zustand  
des Energiespeichers)
  
- 41 Spaltabdeckung (zur Verhinderung ungewollter Einträge in (11))
- 42 freier, nicht von Wasser umgebener Raum
- 43 (schwimmende/obere) Abdeckung von (10)
- 44 Photovoltaikanlage
- 45 (Vorwärts-)Fräskopf
- 46 Seitwärts-/Seitenfräseinheit (für (3)), seitliche Fräseinheit
- 47 kolbenseitige Fräseinheit, Seitwärtsfräseinheit, seitliche Fräseinheit (für (2))

- 48 zylinderseitige Führungseinheit
- 49 kolbenseitige Führungseinheit
- 50 zylinderseitige mobile Schalungseinheit
  
- 51 kolbenseitige mobile Schalungseinheit
- 52 Vorschubrichtung
- 53 Bereich, Betoneinbringung/-svorrichtung (für die Außenwand – Zylindermantel)
- 54 Bereich, Betoneinbringung/-svorrichtung (für die Innenwand – Kolbenmantel)
- 55 (Spalt-)Fräsbetoniereinheit/-system
- 56 (flexibel ausfahrbarer) Sperrschieber, zylinderseitiges Sperrschiebersystem (zur Rückhaltung einer Spülflüssigkeit)
- 57 (flexibel ausfahrbarer) Sperrschieber, kolbenseitiges Sperrschiebersystem (zur Rückhaltung einer Spülflüssigkeit)
- 58 Rohrleitung, Kanal, (Ab-)Pumpeinrichtung/-system (zum Austrag von ausgebrochenem Material)
- 59 Pfeile (für Beweglichkeit einer zylinderseitigen Führungseinheit)
- 60 Pfeile, Beweglichkeit (einer kolbenseitigen Führungseinheit)
  
- 61 (abgebundener Beton einer) (eigenstabile/zylinderseitige) Wandschale
- 62 (abgebundener Beton einer) (eigenstabile/kolbenseitige) Wandschale
- 63 (zylinderseitiger) Bodenseitenfräser
- 64 (kolbenseitiger) Bodenseitenfräser
- 65 (zylinderseitiger) Anschlussseitenfräser
- 66 (kolbenseitiger) Anschlussseitenfräser
- 67 vertikaler Vorschub nach unten/bei einem Umlauf von (55)
- 68 Schalungsband
- 69 Umlenkrolle (bei der Betonaufgabe)
- 70 Umlenkrolle (nach Betonabbindung)
  
- 71 (zähflüssiger/zähflüssig eingebrachter) Beton
- 72 Platte (mit Kapillarbohrungen), Lochplatte  
Platte mit Kapillarbohrungen, vereinfacht „Lochplatte“

- 73 Hohlraum (mit Druckluft)
- 74 Stahl(-seil/armierung zur Vorspannung einer Kolbenschale), Stab
- 75 spezielles Schalungsband mit Profilierung für Rillen zum Einbau von  
Armierungselementen
- 76 untere Lage, Band (einer unteren Lage einer verklebten, zweilagigen Membran)
- 77 (obere Lage), Band (einer oberen Lage einer verklebten, zweilagigen Membran)
- 78 (mikrogekapselter) Klebstoff, Beschichtung (einer unteren Lage)
- 79 (mikrogekapselter) Klebstoff, Beschichtung (einer oberen Lage)
- 80 Anpresssystem,(bewegliches) Lagenpresssystem
  
- 81 Presskraft
- 82 überstehende Stülpmembran, über eine Kolbenoberkante hinausreichender Teil  
einer Stülpmembran
- 83 (am oberen Rand befestigte, biegsame, an einer Stülpmembran befestigte)  
Stahlbänder
- 84 Zugband (an einem Stahlband befestigt)
- 85 Aufwickelvorrichtung, Lagerbock (mit eingebauten, langen, drehbaren Stangen  
und/oder Rohren)
- 86 Stülpmembran im umgestülpten Zustand
- 87 (wasserdichte, dauerhaltbare) Verbindung/Befestigung (von (1) mit (3))
- 88 Befestigung von einem Stahlband an (1)
- 89 Befestigung/Anbringung (von (84) an einem Stahlband)
- 90 Anschlag (für eine Endposition von (1))
  
- 91 (Halbkugel-/Beton-)Schale, halbkugelförmige Unterschale eines Kolbenbodens
- 92 (halbkugelförmige) (Außen-/Unter-/Beton-)Schale (als definierte Trenn- und  
Stüttschicht zum Untergrund unter einer Spaltfläche eines Kolbenbodens)
- 93 (einstellbarer/flexibler) Abstandshalter/Stützkörper/-element (zur Distanzhaltung  
und Kraftaufnahme für eine definierte Fixierung von (3) (beim Anlagenbau und bei  
einer Anlagenrevision)
- 94 Pfeil (für Vorschubrichtung),Vorwärtsbewegungsrichtung
- 95 Fräseinheit/Spaltfräsrads (zur Freiräumung von (11))

- 96 Seitenfräseinheit/-rad (wie (46), (47))
- 97 Randbereichsfräsrads (wie (63), (64), (65) und (66))
- 98 Sperrschiebersystem (zur Rückhaltung einer Spül- und/oder Stützflüssigkeit (wie (56), (57)))
- 99 (vordere) Umlenkrolle (einer Führungseinheit)
- 100 (reibungsarmer) Luftspalt zwischen einem Führungsband und einem Andrückplattensystem
  
- 101 (justierbare) Gelenke/Gelenkeinheit, Mechanismus (zur Einstellung eines Kurvenradius einer zylindrischen/halbkugelförmigen Spaltfläche)
- 102 Gelenk(-lösung), Gelenke, Mechanismus (zum Aus- / Einfahren und/oder zur exakten Positionierung einer seitlichen Fräseinrichtungen)
- 103 (Anpress-, Distanzhalt-/Kurvenradiuseinstell-)Element
- 104 Fräseinheit, Fräszone, Nasszone
- 105 Führungseinheit, Führungszone
- 106 Betonaufgabe
- 107 Schalungszone
- 108 Frisch zugeführter Beton
- 109 Betonschutzschicht
- 110 Rille, Aussparung
  
- 111 Kolbenboden(-platte/-schale) der Kolbenummantelung
- 112 Einfassungsboden(-platte/-schale) der Einfassungsauskleidung
- 113 Untergrundmaterial in einem Bereich (für (2))
- 114 Untergrundmaterial in einem Bereich (für (3))
- 115 Streifen, Fahrweg
- 116 Zentrum
- 118 Wärmedämmung
- 119 Schutzabdeckung der Wärmedämmung
- 120 Trafostation
- 121 Stromnetz

## Patentansprüche

### 1. Energiespeicher,

gekennzeichnet durch

einen in einer Einfassung (3) beweglichen Kolben (2), welcher mit einer Stülpmembran (1) gegenüber seiner Einfassung (3) abgedichtet ist (Stülpmembranspeicher).

### 2. Energiespeicher nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Stülpmembran aus stahl- und/oder metall- und/oder gewebe- und/oder glas- und/oder kohlefaserverstärktem, biegeelastischem Gummi und/oder Kunststoff besteht.

### 3. Energiespeicher nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

an dem Kolben (2) eine, insbesondere durch eine Fräsbetoniereinheit (55) hergestellte, Schalung (19) und/oder an der Einfassung (3) eine, insbesondere durch eine Fräsbetoniereinheit (55) hergestellte, Schalung (18) angeordnet ist/sind.

### 4. Energiespeicher nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

ein Kolbenboden eine halbkugelförmige, insbesondere durch eine Fräsbetoniereinheit (55) hergestellte, Schalung und/oder ein Einfassungsboden eine halbkugelförmige, insbesondere durch eine Fräsbetoniereinheit (55) hergestellte, Schalung aufweist/-en.

### 5. Energiespeicher nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche,

ausgebildet als geschlossener Energiespeicher mit einer geschlossenen, den Kolben vollständig umgebenden Einfassung (3), welche insbesondere unterirdisch angeordnet ist, oder als offener Energiespeicher mit einer nach oben offenen Einfassung (3), welche insbesondere durch eine Abdeckung (43) abdeckbar ist.

6. Energiespeicher nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche,  
gekennzeichnet durch

Wärmetauscherelemente (25), insbesondere spiralförmig umlaufend Heizspiralen (25),  
insbesondere angeordnet an einer Schale (18) der Einfassung (3).

7. Energiespeicher nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche,  
eingesetzt zu einer Parallelnutzung auch als Wärmespeicher, wobei mit einem die  
Kolbenbewegung in der Einfassung (3) bewirkenden Medium, Wärmeenergie gespeichert  
wird.

8. Verfahren zur Herstellung eines Energiespeichers mit zumindest einem in einer Einfassung  
(3) beweglichen Kolben (2), insbesondere zur Herstellung des Energiespeichers nach einem  
der voranstehenden Ansprüche,

bei dem

der Kolben (2) aus einem Untergrund (20) freigeschnitten wird.

9. Verfahren zur Herstellung eines Energiespeichers nach mindestens einem der  
voranstehenden Verfahrensansprüche

dadurch gekennzeichnet, dass

bei dem Freischneiden des Kolbens (2) ein, insbesondere ringförmiger, Spalt (11) zwischen  
der Einfassung (3) und dem Kolben (2) freigeschnitten wird, insbesondere unter Verwendung  
einer sich schraubenförmig in den Untergrund vorarbeitenden Fräsbetoniereinheit (55)  
und/oder insbesondere durch streifenweises Freischneiden des Spalts (11) und/oder flexible  
Abstützung freigeschnittener Zonen.

10. Verfahren zur Herstellung eines Energiespeichers nach mindestens einem der  
voranstehenden Verfahrensansprüche

dadurch gekennzeichnet, dass

bei dem Freischneiden des Kolbens (2) der Kolben (2) mit einer Schalung (19) und/oder die  
Einfassung (3) mit einer Schalung (18) versehen wird/werden.



## Zusammenfassung

### Energiespeicher

Die Erfindung betrifft einen Energiespeicher sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Energiespeichers.

Um einen kostengünstigen, verlustarmen, unauffälligen und möglichst bedarfsnahen sowie mit hoher oder unbegrenzter Lebensdauer zur Verfügung stehenden Energiespeicher zu realisieren, ist ein Energiespeicher vorgesehen mit einem in einer Einfassung (3) beweglichen Kolben (2), welcher mit einer Stülpmembran (1) gegenüber seiner Einfassung (3) abgedichtet ist (Stülpmembranspeicher). Bei dem Verfahren zur Herstellung eines Energiespeichers mit einem in einer Einfassung (3) beweglichen Kolben (2), insbesondere mit einem in einer Einfassung (3) beweglichen Kolben (2), welcher mit einer Stülpmembran (1) gegenüber seiner Einfassung (3) abgedichtet ist, wird der Kolben (2) aus einem Untergrund freigeschnitten.

Figur 21